

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Danijel Kolinger

ZAGREB, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Goran Đukić

Danijel Kolinger

ZAGREB, 2013.

IZJAVA

Izjavljujem pod moralnom, materijalnom i krivičnom odgovornošću da sam završni rad na temu „Primjene automatski vođenih vozila“ radio samostalno koristeći literaturu koju mi je dao mentor te koristeći literaturu koju sam i sam pronašao.

Prilikom izrade završnog rada također sam koristio znanja i iskustva stečena tijekom studija.

(Danijel Kolinger)

ZAHVALA

Zahvaljujem se roditeljima i kolegama na velikoj pomoći, povjerenju i strpljenu koje su mi ukazali tijekom studija kao i prilikom pisanja završnog rada.

Posebno se zahvaljujem **Prof. dr. sc. Goranu Đukiću** koji mi je svojim dragocjenim prijedlozima, savjetima, i sugestijama omogućio da uspješno završim ovaj rad.

1. UVOD

U ovom radu biti će obrađena primjena automatski vođenih vozila (AGV) u različitim granama industrije.

Nakon kratkog uvoda u logistiku, s ciljem razumijevanja uloge AGV sustava, daje se pregled tipova automatski vođenih vozila i osnovnih funkcija sustava s tim vozilima.

Glavni dio rada posvećen je ilustracijama primjene tih vozila u raznim industrijama, a posebnim naglaskom u novije vrijeme, skladištima i distribucijskim centrima.

Na kraju rada dan je opis i primjer načina izračuna potrebnog broja vozila u sustavima automatski vođenih vozila (AGV sustavima).

Sadržaj:

1. UVOD	5
2. OPĆENITO O LOGISTICI.....	9
2.1. Logistika kao znanost i logistika kao poslovna funkcija	9
2.2. Povijesni razvoj logistike.....	10
2.3. Važnost i ciljevi logistike	13
3. SUSTAVI AUTOMATSKI VOĐENIH VOZILA (AGV)	14
3.1. Definicija i povijesni prikaz razvoja.....	14
3.2. Klasifikacija vozila i njihove komponente	17
3.3. Osnovne funkcije AGV sustava	24
4. PODRUČJA PRIMJENE AGV VOZILA.....	37
4.1. Primjena u montaži	37
4.2. Primjena u kemijskoj industriji.....	39
4.3. Primjena u bolnicama	40
4.4. Primjena u metaloprerađivačkoj industriji	41
4.5. Primjena u transportu kontejnera.....	42
4.6. Primjena u proizvodnji papira	43
4.7. Primjena u automobilskoj industriji	44
4.8. Primjena u zrakoplovnoj industriji	45
4.9. Primjena za pročišćavanje otpadnih voda	46
5. PRIMJENA AGV VOZILA U SKLADIŠTU	48
5.1. Primjena u procesima uskladištenja i iskladištenja	48
5.2. Primjena u procesima utovara i istovara.....	51
5.3. Primjena u procesima povezivanja skladišnih zona	53
5.4. Primjena u sustavima komisioniranja.....	55
6. PRIKAZ GLAVNIH SVIJETSKIH PROIZVOĐAČA AGV SUSTAVA	60
7. MATEMATIČKI MODELI PRORAČUNA PARAMETARA AGV SUSTAVA.....	67
7.1. Teorijske osnove.....	68
7.2. Matematički modeli	69
7.3. Primjer odabira broja AGV vozila.....	72
8. ZAKLJUČAK	77
9. LITERATURA.....	78

Popis slika:

Slika 1: Prikaz prvog automatski upravljanog vozila[4]	14
Slika 2: Prikaz najvećeg poznatog automatski vođenog vozila (AGV)[11]	16
Slika 3: Prikaz nekoliko automatski vođenih vučnih vozila[5].....	18
Slika 4: Prikaz vučnog vozila[5]	18
Slika 5: Prikaz automatski vođenog vučnog vozila s prikolicom[5].....	19
Slika 6: Vozilo jediničnih tereta[5]	20
Slika 7: Prikaz vozila jediničnih tereta[8]	20
Slika 8: Prikaz jednog AGV paletnog vozila[25].....	21
Slika 9: Prikaz automatski vođenog viličara[6]	22
Slika 10: Prikaz osnovnih dijelova AGV viličara[6]	23
Slika 11: Prikaz AGV vozila specijalne namjene (vozilo za bubnjeve)	24
Slika 12: Mehaničko vođenje AGV	25
Slika 13: Mreža mehaničkog vođenja u skladištu	26
Slika 14: Ilustracija principa rada kod indukcijskog vođenja	27
Slika 15: Prikaz jednog AGV vozila sa optičkim vođenjem.....	28
Slika 16: Primjer AGV vozila navođenog laserskim upravljanjem	29
Slika 17: Prikaz tipkovnice za unos rute na AGV vozilu iz tvrtke „Seegrid“	30
Slika 18: Prikaz mreže puteva	31
Slika 19: Metoda izbora frekvencije	31
Slika 20: Metoda izbora prekidačem.....	32
Slika 21: Layout zona.....	33
Slika 22: Shematski prikaz metoda distribuirane kontrole zone	33
Slika 23: Shematski prikaz metoda centralne kontrole zone.....	34
Slika 24: Shematski prikaz metoda kontrole zone vozilima	34
Slika 25: Prikaz traktorske kabine na AGV vozilu prilikom montaže	37
Slika 26: AGV vozila u proizvodnom sustavu „John Deer“	38
Slika 27: Prikaz putanje AGV vozila u tvornici „John Deer“	39
Slika 28: Primjena AGV vozila u kemijskoj industriji	40
Slika 29: AGV vozilo sa primjenom u bolnici	41
Slika 30: primjer AGV vozila u metaloprerađivačkoj industriji	42
Slika 31: Prikaz AGV vozila za transport kontejnera	42
Slika 32: Transport kontejnera u brodskim lukama pomoću AGV vozila	43
Slika 33: Prikaz AGV vozila u industriji proizvodnje papira	44
Slika 34: AGV vozila u auto-industriji	45
Slika 35: AGV vozila u zrakoplovnoj industriji.....	46
Slika 36: Izvedba AGV brzo-rotacijskog vozila	46
Slika 37: Prikaz rada brzo-rotacijskog AGV vozila	47
Slika 38: Upotreba AGV vozila za skladištenje rezervnih dijelova	49
Slika 39: Upotreba AGV vozila kod skladištenja papira	49
Slika 40: Primjena AGV viličara u distribucijskim centrima	50
Slika 41: Prikaz AGV viličara prilikom ulaska u kamion i pretovara paletiziranog materijala bez ručnog upravljanja „SavantLoader“ sustavom	51
Slika 42: Izvedba AGV viličara za utovar/istovar sa dvostrukim parom vilica.....	52

Slika 43: Prikaz povezivanja skladišnih zona AGV vozilima.....	54
Slika 44: Primjer povezivanja skladišnih zona AGV vozilo u distribucijskom centru američke kompanije SOLO CUP	55
Slika 45: Primjer mobilnog sustava komisioniranja	56
Slika 46: Prikaz skladišta sa podnim KIVA AGV vozilima.....	57
Slika 47: Tlocrt skladišta u kojem transport vrše KIVA AGV vozila.....	58
Slika 48: AGV vozila serije <i>Falcon</i>	62
Slika 49: AGV vozila serije <i>Eagle</i>	62
Slika 50: Prikaz AGV vozila serije <i>Patriot</i>	63
Slika 51: Prikaz nekih AGV vozila iz asortimana tvrtke <i>Rocla</i>	64
Slika 52: Neka AGV vozila iz asortimana tvrtke <i>Dematic</i>	66
Slika 53: Faktori koji utječu na učinkovitost sustava[14]	67
Slika 54: Faktori koji direktno utječu na broj AGV vozila[14]	67

Popis tabela:

Tabela 1: Prikaz svjetskih proizvođača AGV vozila[8]	60
Tabela 2: Podaci o udaljenosti između stanica za natovareno vozilo[15].....	72
Tabela 3: Podaci o udaljenosti između stanica za prazno vozilo[15].....	73
Tabela 4: Podaci o toku materijala između stanica[15]	73

2. OPĆENITO O LOGISTICI

2.1. Logistika kao znanost i logistika kao poslovna funkcija

Logistika se najčešće, u širem kontekstu, povezuje ili razvrstava u područje Industrijskog inženjerstva (IE).

U najširem smislu, logistika kao znanost predstavlja skup multidisciplinarnih i interdisciplinarnih znanja koja izučavaju i primjenjuju zakonitosti planiranja, organiziranja, upravljanja i kontroliranja tokova materijala, osoba, energije i informacija u sustavima. Nastoji naći metode optimizacije tih tokova s ciljem ostvarivanja ekonomskog efekta (profita).

Logistika, općenito, je znanje i vještina razvoja, projektiranja, implementacije i upravljanja opskrbom, održavanjem i zbrinjavanjem sustava. Pojednostavljeno, može se reći da je logistika potrebna u svakom poduzeću ili djelatnosti u kojoj postoji neki tok materijala, informacija, energije ili ljudi. Postoji više vrsta logistike, a one koje su bitne u okviru ovog završnog rada su poslovna logistika i tehnička logistika.

Poslovna logistika podrazumijeva organiziranje i upravljanje svim resursima i njihovim tokovima u poslovnim procesima, pri čemu su dominantni vrijednosni resursi.

Tehnička logistika (TL) podrazumijeva rješenja tehnike i tehnologije kretanja i mirovanja materijala (i informacija) u procesima proizvodnje ili u procesima uslužnih djelatnosti.

Težište sadržaja i ciljevi tehničke logistike su na onim procesima koji se temelje na stvaranju nove vrijednosti, u kojima je tok materijala temeljni tok (prema tome se vidi da je riječ o proizvodnji).

Prema toj činjenici može se sažeti glavni zadatak tehničke logistike koji glasi da logistika mora osigurati da određeni materijal odgovarajuće kvalitete, u određenoj količini, s pravim informacijama bude raspoloživ u određenom trenutku, na određenom mjestu, kod određenog korisnika i sa optimalnim troškovima.

U poduzećima koja se bave uslužnim djelatnostima također postoje tokovi materijala, uzmimo primjer kao temeljnih poduzeća ona kod kojih je riječ o prometu, pri čemu su određeni zadaci tehničke logistike u konačnici isti (ali naravno sa drugim tehnologijama i drugačijim sredstvima).

Kod pojmova vezanih za logistiku razlikujemo još i pojam logističkog lanca (lanac opskrbe) koji podrazumijeva zajednička rješenja logistike za dva ili više poduzeća koja su povezana tokovima materijala, a glavni cilj im je osiguranje bolje poslovne povezanosti.[1]

2.2. Povijesni razvoj logistike

Riječ „logistika“ u svakodnevnom se govoru često koristi za različite pojmove; znanstvena disciplina, sustav mišljenja, zamisao upravljanja i vođenja procesa, algoritam mjera za ostvarenje određenog cilja, dio organizacijske strukture, vještina opskrbe, opskrba, djelatnost drugih. Pojava prvih logističkih aktivnosti može se izravno povezati s potrebama uspješnog vođenja ratova i to od prvih vojnih operacija.

Riječ logistika ima korijene od francuske riječi „*logistique*“ što je izvedeno iz dočasničkog čina „*Marechal de logis*“ čija je zadaća bila planirati sve administrativne poslove vezane uz pomak snaga u francuskoj vojsci u 17. stoljeću.

A korijene vuče i iz grčkog jezika od riječi „*logos*“ koja govori da je to znanost o principima i oblicima pravilnog mišljenja i prosuđivanja, te riječi „*logistikos*“ koja ima značenje vještine, iskustva i znanja o očuvanju, procjeni i prosudbi svih relevantnih elemenata u prostoru i vremenu potrebnih za optimalno rješavanje strateških i taktičkih zadataka u svim područjima ljudskih aktivnosti.

Rani počeci logistike se zapravo vežu uz vojsku te opskrbu vojske. Zadatak logistike bio je u to vrijeme da se vojska plati, korektno naoruža i ustroji, da se vodi briga o pravovremenom i dovoljnom podmiranju potreba, da se svaka vojna akcija dobro pripremi, da se proračunaju putovi i termini, da se procijeni snaga protivnika, da se sve funkcije reguliraju, razvrstavaju i usklade s kretanjem vojnih postrojbi. Švicarac Antoin-Henri Baron de Jomini (1779.-1869.) u svojoj knjizi je posvetio cijelo poglavlje logistici u kojem je temeljno razradio i obradio zadatke izbora lokacije i uređenja logora, planiranje i provedbu pokretanja vojske, pripremu transportnih sredstava i zbrinjavanje otpada. Nakon prijevoda Jominijeve knjige u Americi je logistika vrlo brzo prihvaćena i uvedena u tada aktualnu vojnu terminologiju. Smatra se da je do kraja 2. svj. rata logistika zauzela važno mjesto u vojnim postrojbama svih zemalja i danas se smatra jednom od ključnih funkcija svake vojske za uspješnost vojnih operacija.

Između brojnih definicija vojne logistike može se uzeti ona iz NATO-a kao relevantna (iz 2003. god.) koja kaže da je logistika znanost o planiranju i pokretanju vojnih postrojbi, sadrži projektiranje, razvoj, opremanje, skladištenje, prijevoz, distribuciju, održavanje vojne tehnike i opreme, prijevoz vojnika, izgradnju, opremanje, održavanje građevinskih objekata i infrastrukture, osiguravanje i ugovaranje usluga, sanitetsko zbrinjavanje i ostalo. Pojednostavljeno, logistika u vojsci je znanost i vještina pripreme, nabave, prijevoza, smještaja, održavanja distribucije i upravljanja svim resursima i njihovim tokovima potrebnim za uspješno vođenje vojnih operacija i ostvarivanje vojnih ciljeva.[1]

Primjenu u gospodarstvu logistika dobiva nakon 2. svj. rata, što je vidljivo iz kratkog kronološkog prikaza razvoja na slijedećoj stranici.

Kronološki prikaz razvoja logistike(preuzeto iz izvora [3]):

- 17. stoljeće, u Francuskoj; logistika kao vojna doktrina, opskrba vojnih trupa potrebnim sredstvima, prijevoz dobara i vojske, osiguranje prehrane i smještaja vojske.
- krajem 19. stoljeća, u SAD-u,logistika uvedena kao vojnička literatura u značenju pozadinske vojničke službe.
- 1844. Jules Dupuit, francuski inženjer, pružio je ideju zamjene transportnih troškova za troškove zaliha na primjeru izbora cestovnog ili pomorskog prijevoza robe.
- sredinom 20. stoljeća izraz je iz vojnog ušao u gospodarsko - znanstveno područje.
- 1961. Godine, prva knjiga iz područja poslovne logistike koja je bila orijentirana na fizičku distribuciju.
- smatra se razvoj suvremene logistike započinje 1960-ih kada se nastoje boljim povezivanjem organizacijskih funkcija poduzeća smanjiti troškovi.
- druga polovica 20. stoljeća, logistika se afirmira kao znanost i gospodarska aktivnost u mnogo širem i suptilnijem značenju.

Sa stajališta proizvodnje kao temeljne funkcije industrijskih poduzeća, o poticajima i razvoju logistike može se govoriti na način da proizvodnja u pravilu ima najveće troškove, tako da je logično da veći poslovni uspjeh poduzeća često puta traži smanjenje troškova proizvodnje u racionalizacijama, inovacijama, poboljšanjem organizacije, većom produktivnosti, novim tehnologijama i dr.)

S tehničkog stajališta, povećanje produktivnosti i ekonomskih efekata procesa proizvodnje mogu se ostvariti na razne načine: razvojem proizvoda i novim proizvodnim programima, tehničko-tehnološkim poboljšanjima procesa proizvodnje, inovacijama proizvodnog sustava, poboljšanjem organizacije i upravljanja procesima itd. U procesima proizvodnje, dugo vremena su troškovi logistike bili zanemarivi ili nezanimljivi jer su nastajali na prijelazima (granicama ili vezama) između organizacijskih jedinica ili procesa, ali zato što su bili „skriveni“ u drugim troškovima. Napredak i postignuća informatike i informatičke tehnologije daju u 70-tim godinama prošlog stoljeća najveći doprinos daljnjem razvoju logistike. Osim toga i stanje na tržištu proizvoda, resursa (posebice energenata) inicira povećanje značaja logistike te razvoj u oblik u kakvom se nalazi danas.[1]

I u ovom stoljeću vidljiv je značajan razvoj logistike, odnosno i šire upravljanje cijelim lancima opskrbe(SCM). Mnogo je razloga za dobar i rapidan razvoj logistike, a najutjecajniji čimbenici navedeni su u nastavku.

Čimbenici koji su utjecali na ubrzan razvoj logistike(preuzeto iz izvora [1]):

- globalizacija i koncentracija gospodarskih aktivnosti
- internacionalizacija proizvodnje i trgovine
- ubrzani rast i razvoj znanstvenih spoznaja u svim znanstvenim područjima
- implementacija načela ekonomije obujma
- jačanje konkurencije
- ubrzani razvoj i modernizacija prometne infrastrukture i transportnih tehnologija
- razvoj i afirmacija robno-transportnih, robno-trgovinskih i logističkih centara, različitih terminala i slobodnih zona
- povećanje kupovne moći stanovništva visoko-razvijenih i srednje-razvijenih zemalja
- jačanje EU u globalnim razmjerima
- ubrzani proces deregulacije, privatizacije i liberalizacije gospodarskih sektora i pojedinih gospodarskih djelatnosti
- jačanje demokratizacije

Važniji noviji trendovi razvoja logistike navode značajke u procesima materijalne proizvodnje u vezi sa vremenom trajanja aktivnosti koje se mora smanjivati, veličini zaliha materijala koje također ima tendenciju smanjivanja ukoliko se želi poslovati s profitom, te fleksibilnosti i kvalitetom od kojih današnje vrijeme i razvoj proizvoda traži da budu maksimalne. Jedan od važnijih čimbenika danas je i briga o okolišu, odnosno cjelokupnoj održivosti poslovanja i društva. Pa se tako u posljednje vrijeme sve više govori i o zelenoj ili održivoj logistici, odnosno zelenim/održivim lancima opskrbe.

Troškovi logistike mogu se sistematizirati na razne načine a prema faktorima proizvodnje mogu biti troškovi za rad-plaće, sredstva, opremu, materijal, energiju, usluge i slično. Prema vrsti sredstava postoje troškovi transporta, troškovi skladišta i troškovi prekrcaja.

U literaturi se u raznim situacijama(statističkim izvješćima ili nakon provedenih anketa) logistički troškovi prikazuju kao skup transportnih, skladišnih, administrativnih troškova, te troškova držanja zaliha i upravljanja narudžbama/uslugama.

2.3. **Važnost i ciljevi logistike**

Logistika se u posljednjih dvadesetak godina razvila i afirmirala više nego prethodnih stotinjak godina. S obzirom na to, postaje važni čimbenik u gospodarstvu jedne države. Udio vrijednosti logističkih usluga u BDP-u visokorazvijenih država (npr. Njemačke, Francuske, SAD-a, Japana) se u posljednjih dvadesetak godina povećao za oko 10 - 50 %. Stupanj intenziteta razvoja logistike je različiti unutar pojedinih gospodarskih sektora. Sukladno tome, najjači intenzitet se doživljava u tercijarnom sektoru.

Značaj logistike je u tome što su poduzeća uvjerila da se primjenom logističkih načela i metoda mogu uvelike smanjiti troškovi, a što u konačnici za njih znači povećanje profita. Poslovna logistika ima poseban značaj jer značajan dio vremena i troškova procesa reprodukcije otpada na logističke aktivnosti.[3]

Osim svoje važnosti s obzirom na značajan udio u troškovima, logistika ima ogroman utjecaj na postizanje zadovoljstva korisnika, te u konačnici na konkurentnost.

Da bi na tržištu mogli konkurirati potrebno je ostvariti i zadržati troškovnu i vrijednosnu prednost te kombinaciju obje.

Kod sagledavanja konkurentnosti s aspekta vrijednosne prednosti bitno je naglasiti da usluge koje se pružaju zadovoljavaju kupca, tj. da budu po mjeri kupca te uvijek stavljati težište na odnose s kupcima, dok kod troškovne vrijednosti je zapravo najvažnija iskoristivost kapaciteta. Aktivnosti logistike ovise o vrsti procesa kojem su potpora. Proces proizvodnje su brojni i raznovrsni, u svim procesima proizvodnje najčešće logističke aktivnosti materijalom su transportiranje, skladištenje, pakiranje, prekrcaj, sortiranje, sakupljanje, razvrstavanje rukovanje materijalom i sl.

Analiza o funkcijama logistike u industrijskim poduzećima kao što su: poljoprivreda, gospodarstvo i šumarstvo, ribarstvo, rudarstvo i vađenje, vađenje energetskih sirovina, proizvodnja i prerada metala, proizvodnja hrane i pića, prerada drva i proizvodi od drva, proizvodnja proizvoda od gume i plastike i ostalih grane industrije pokazuje da su glavne funkcije logistike planiranje logistike i upravljanje logistikom koje se dijeli na upravljanje tokovima materijala, skladištem, zalihama, prekrcajem, planiranjem transporta i sl. Ciljevi logistike kao znanosti mogu se sažeto prikazati kao smanjenje troškova bilo kojeg procesa. Zaključak je da rješavanje problema logistike ima polazište u spoznaji o troškovima, a cilj je njihovo smanjenje u procesima. Troškovi su jedan od najvažnijih kriterija za vrednovanje logistike kao potporne funkcije u procesima (transportiranja, skladištenja, pakiranja, zaliha).

Bitan cilj logistike je kao što je rečeno na prethodnoj strani i pronalaženje optimalne točke između vrijednosne i troškovne prednosti, povećanje troškovne i vrijednosne prednosti se ostvaruje uvođenjem novih tehnologija kao što je uvođenje automatski vođenih vozila (AGV) u sustave skladištenja, distribucije i slično. U slijedećem poglavlju će biti prikazano razvoj i implementacija takvih vozila u razne sustave.

3. SUSTAVI AUTOMATSKI VOĐENIH VOZILA (AGV)

3.1. Definicija i povijesni prikaz razvoja

Automatski vođena vozila su definirana kao vozila s vlastitim pogonom, vlastitim izvorom energije te uređajima za prekrcaj, namijenjena transportu materijala.

Druga definicija automatski vođenih (upravljanih) vozila, poznata i kao AGV vozila (akronim od engleskog naziva *Automated Guided Vehicle*), kaže da su to podna transportna vozila bez vozača, računalno upravljana, najčešće na električni pogonom s baterijama.

Bitno je naglasiti da su ova vozila bez vozača tj. ona su sposobna funkcionirati bez operatera pri čemu se daje poseban naglasak na činjenicu da smanjeni troškovi za plaću radnika koja iznosi u neautomatiziranim procesima do oko 75% troškova.

Početak primjene automatski vođenih vozila povezuje se s postignućem američke firme „*Barrett Vehicle Systems*“ koja je 1954. godine po prvi puta uspjela automatizirati jedno vučno vozilo s mehaničkim vođenjem, i to tako da je žica bila smještena iznad vozila.[4]

Nakon toga se razvoj i daljnja automatizacija seli u Njemačku te su od 1963. godine prve firme bile *Jungheinrich* i *Wagner*. Automatski vođena vozila (AGV) od 1970. godine ulaze u procese tokova materijala i u bolnice.[1]

Velik poticaj razvoju bio je i napredak u vezi s izvorima energije za automatizirana vozila, i također napredak i postignuća računalnih i IT tehnologija. Veliki zamah u primjeni ovih vozila počinje 70-ih godina prošlog stoljeća, kada najprije Volvo implementira sustav od 280 automatski vođenih vozila u procesu montaže automobila, da bi se 1976 pojavilo prvo automatski vođeno vozilo za jedinične terete. Princip vođenja tih prvih vozila bio je po tzv. fiksnim putevima i prikaz je dan ispod na Slici 1.[4]



Slika 1: Prikaz prvog automatski upravljanog vozila[4]

U sistematizaciji sredstava unutrašnjeg transporta, AGV vozila možemo svrstati shodno opisu u nastavku.

Trend razvoja u industriji je uvođenje računalom integrirane i automatizirane proizvodnje, koja nad klasičnom ima prednosti smanjenja troškova, povećanje proizvodnosti i kvalitete proizvoda, poboljšanje uvjeta rada i humanizacije rada i dr.

Te prednosti rezultat su kako automatizacije operacija izrade proizvoda i izmjene alata, tako i automatizacije transporta i skladištenja.

Osnovne komponente automatiziranog transportnog sustava su:

1. transportna sredstva
2. transportni putevi – staze
3. upravljački uređaji
4. ostala oprema i uređaji

Osnovne vrste transportnih sredstava u automatiziranom transportnom sustavu su vozila, granici i konvejeri.

Za vodoravni transport najčešće se koriste vozila s raznim mogućnostima kretanja, te se takovi sustavi nazivaju sustavi s automatski vođenim vozilima (*eng.* Automatic Guided Vehicle Systems – AGVS):

Sustavi automatski vođenih vozila su vrlo zanimljivi i korisni, jer oni nude visok stupanj fleksibilnosti i automatizacije u prijevozu materijala. Za razliku od mnogih drugih materijalnih transportnih sustava, AGV sustavi rijetko zahtijevaju posebnu konstrukciju za potporu pri prevoženju materijala i robe. Razvojem AGV vozila te primjenom automatizacije i visokog stupnja fleksibilnosti danas razlikujemo puno vrsta vozila s obzirom na težinu tereta koju mogu prevoziti. Nosivost varira od težine manje od 1 kg pa do težina većih od 100 t.

Primjer najvećeg do sada poznatog AGV vozila je iz Belgije, Antwerpen-a gdje je „*AeroGo Europe NV*“ isporučio automatski vođeno vozilo nosivosti 130 t koji će služiti kao transporter za prijevoz modula čvrstog pogonskog pojačala u svrhu europskog svemirskog programa lansiranja. Transporter je osmišljen kao automatski vođeno vozilo te je sposoban za uzdužnu vožnju, poprečnu vožnju, zaustavljanju i okretanje na licu mjesta. Transporter može prema priručniku raditi automatskim ili polu-automatskim načinom rada. Duljina transportera je od 8m do 12m, te je on samonosivi. Opskrba električnom energijom je izvedena pomoću dvije baterije koje skupa omogućuju neprekinuti rad na nekoliko radnih sati, sa integriranim punjačem. Slika 2(slijedeća stranica) prikazuje izgled najvećeg automatski vođenog vozila.



Slika 2: Prikaz najvećeg poznatog automatski vođenog vozila (AGV)[11]

Relativno brz razvoj automatski vođenih vozila lansirao ih je u razna područja primjene kao što su:

- Produkcija (automobili, bijela tehnika, računalna tehnika...)
- Turizam i ugostiteljstvo
- Zdravstvo (bolnice)
- Skladištenje i komisioniranje
- Montaža
- Distribucija
- Pakiranje
- Prekrcaj
- Obrada (tokovi materijala između obradnih strojeva-stanica)

U automatiziranim proizvodnim procesima transportni sustavi mogu biti integrirani sa robotima (npr. robotizirana vozila), mogu biti fleksibilni, modularno strukturirani te kombinirani, tj. sastavljeni od raznih (samostalnih) uređaja.

Postoji niz pogodnosti zbog kojih se uvodi automatizacija tokova materijala u različita područja primjene, neka od njih su:

- Smanjenje troškova za plaće radnika
- Skraćivanje radnih ciklusa i vremena protoka
- Smanjenje zaliha
- Povećanje fleksibilnosti
- Niža cijena transporta
- Poboljšani uvjeti rada
- Povećanje proizvodnosti i kvalitete
- Humanizacija rada
- Smanjenje broja nesreća na radu i štete u procesima

Svakako postoje i nedostaci u primjeni ovih vozila, neki od njih su:

- Visoka cijena samih AGV vozila i instalacija te infrastruktura koju zahtijevaju
- Potreba za većim stupnjem obrazovanja radnika
- Vozilo ne može mijenjati smjer kao radnik
- Mogućnost kvara vozila
- Nestanak struje

3.2. Klasifikacija vozila i njihove komponente

Ranije u tekstu je spomenuto da u praksi razlikujemo veliki broj različitih izvedbi AGV vozila, što omogućuje praktičnu i vrlo široku primjenu. Prema tome razlikujemo i klasificiramo slijedeće vrste AGV vozila:

- Vučna vozila
- Vozila jediničnih tereta
- Paletna vozila
- Viličari
- Vozila specijalne namjene

3.2.1 Vučna vozila

Automatski vođena vučna vozila(eng. AGV(Towing Vehicles)) vučna vozila bila su prva vrsta tih vozila a koriste se još i danas, ona su najstariji i najpopularniji tip AGV vozila. Mogu vući više prikolica/vagona pa im se kapacitet kreće od 4 do 25 tona. Obično imaju primjenu u transportu tereta u/iz skladišta (prijemna i predajna zona), a kako se radi o velikim količinama materijala najčešće služe za punjenje i pražnjenje vozila vanjskog transporta. Uglavnom im je primjena u transportu većih količina tereta. Prikaz nekih vrsta vučnih vozila dan je na slici ispod te na slijedećoj stranici(Slika 3,4,5):[2]



Slika 3: Prikaz nekoliko automatski vođenih vučnih vozila[5]



Slika 4: Prikaz vučnog vozila[5]



Slika 5: Prikaz automatski vođenog vučnog vozila s prikolicom[5]

3.2.2. Vozila jediničnih tereta

Vozila jediničnih tereta (eng. *unit load AGV*) opremljena su s platformama koje omogućavaju transport jediničnih tereta (pojedinačni komadi, kutije, sanduci, palete), a najčešće i automatski pretovar (pomoću podiznog stola, lančanog, trakastog ili valjčanog konvejera, teleskopskih vilica...) na način da se roba utovari na postolje koje se nalazi na vozilu i dalje se prevozi i pretovaruje.[2]

Primjenjuju se kod transporta na kraće udaljenosti visokim protokom, a zbog sposobnosti automatskog povezivanja s konvejerima, radnim stanicama, strojevima i AS/RS sustavima često su integrirani u automatizirani proizvodni ili skladišni sustav. Prikaz nekoliko AGV vozila jediničnih tereta dan je na slikama 6 i 7:



Slika 6: Vozilo jediničnih tereta[5]



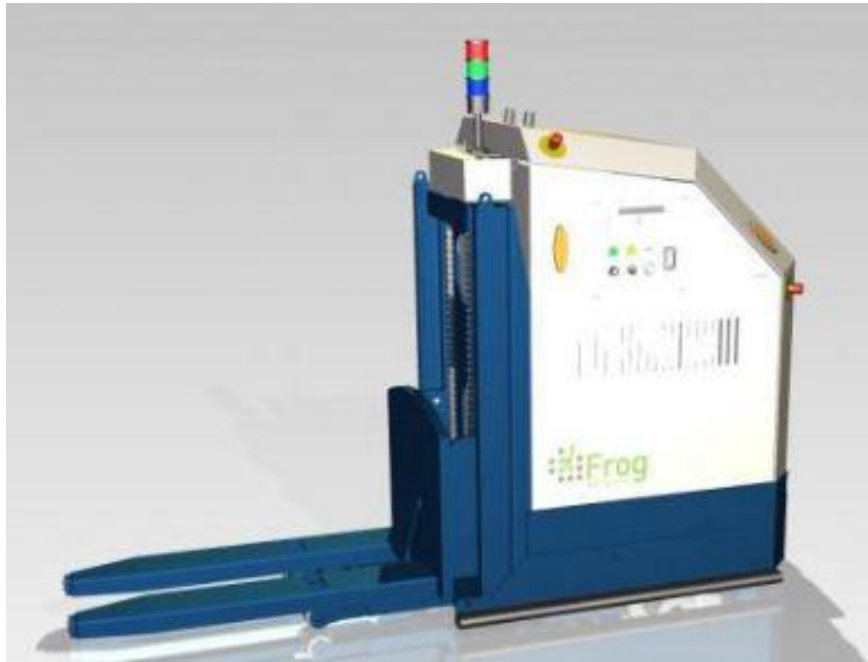
Slika 7: Prikaz vozila jediničnih tereta[8]

3.2.3. Paletna vozila

Automatski vođena paletna vozila (eng. *pallet truck AGV*) konstruirana su za transport paletiziranog materijala, utovarom s poda i istovarom na pod pri čemu se palete podižu nekoliko centimetara od poda, čime se eliminira potreba za fiksnim mjestima za odlaganje jedinica transportiranja. Utovar takvih vozila može biti na dva načina:[2]

- s automatskim utovarom (nužnost točnog pozicioniranja za utovar) i
- s ručnim utovarom (potreba za operaterom koji rukuje vozilom pri utovaru).

Na slici 8 prikazano je jedno takvo vozilo.



Slika 8: Prikaz jednog AGV paletnog vozila[25]

3.2.4. Viličari

Automatski vođeni viličari (eng. *fork truck AGV*) najnoviji su tip AGV vozila, po svojem izgledu i funkciji bliski klasičnim izvedbama viličara.

Uz transport, mogućnost pretovara paletiziranog materijala ne samo na razini poda, već i na višim razinama, čini ih pogodnima i opravdanim za primjenu u sustavima gdje je potrebna potpuna automatizacija i veća fleksibilnost u povezivanju s ostalim podsustavima.[2]

Najnoviji trend automatski vođenih viličara omogućuje automatiziranu dostavu, primjenu u skladišnom poslovanju te u utovaru i istovaru robe u/iz skladišta, te također omogućuje i pretovar u vozila vanjskog transporta(kamioni i sl.) bez ručnog upravljanja. Jedan primjer AGV viličara prikazan je na slici 9.[6]

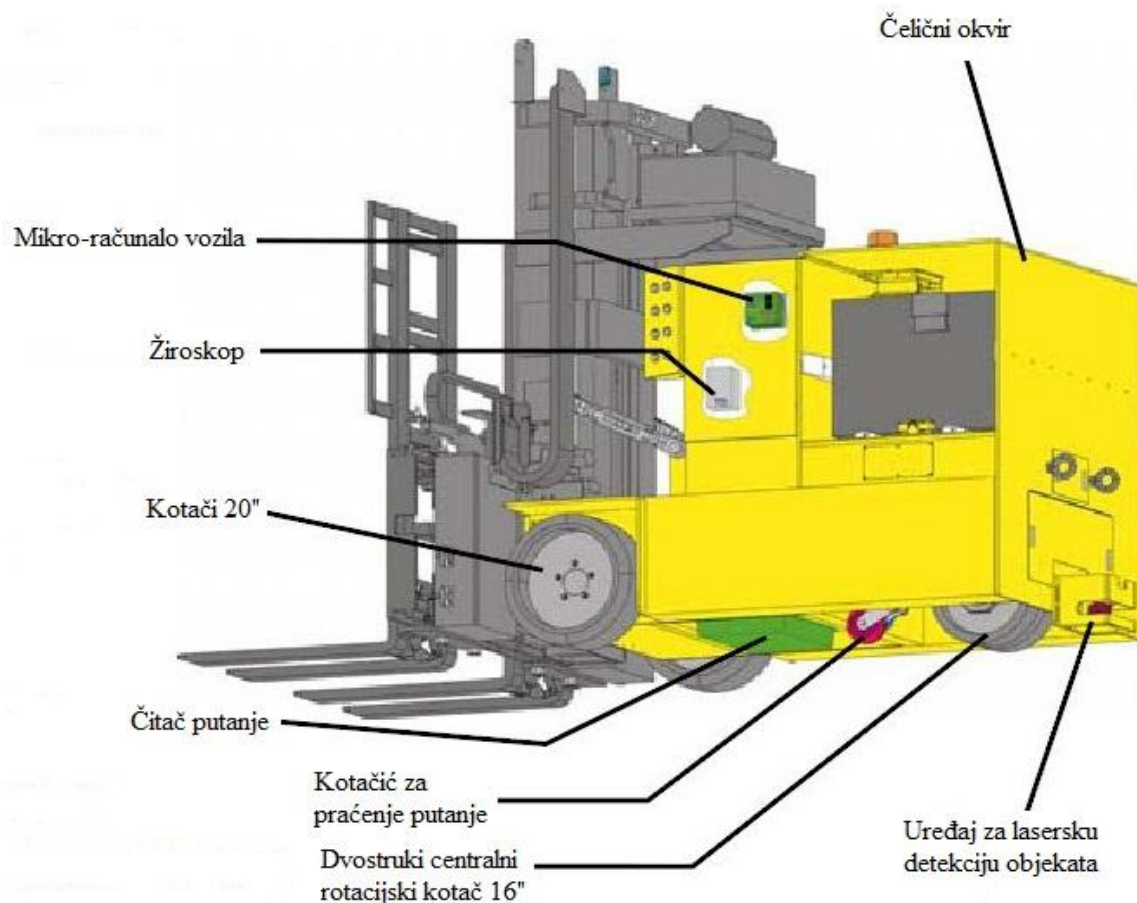


Slika 9: Prikaz automatski vođenog viličara[6]

Princip inercijskog sustava navođenja:

Primarni uređaji koji se nalaze na AGV viličaru uključuju žiroskop, kotača, pogon za usmjeravanje i upravljanje enkodera, te kodove za učitavanje poda.

Putanja kretanja se lako može napraviti od žice te instalirati i izmijeniti u vrlo kratkom vremenu, ili se montira sustav laserskog navođenja i prepoznavanja ciljanih objekata što je danas najnoviji trend.



Slika 10: Prikaz osnovnih dijelova AGV viličara[6]

Ova slika prikazuje glavne dijelove AGV viličara kod kojeg se radi o primjeru žiroskopskog vođenja što će biti objašnjeno u poglavlju 3.3.1.2.

3.2.5. Vozila specijalne namjene

Postoje također i razne izvedbe vozila specijalne namjene koja služe za prijevoz robe nepravilnih oblika i sl. Tu možemo ubrojiti vozila za bubnjeve, za izrazito teške i velike terete (npr. kontejnere u morskim lukama), te automatski vođena vozila za montažu u automobilske industrije. Primjer jednog takvog vozila prikazan je na slici 11.



Slika 11: Prikaz AGV vozila specijalne namjene (vozilo za bubnjeve)

3.3. Osnovne funkcije AGV sustava

Govoreći o automatski vođenim vozilima bez vozača, lako je zaključiti da njima upravlja računalno. No nameće se pitanje kako vozilo prati određenu stazu, te izbjegava fiksne, ali i nepredviđene prepreke u svom kretanju.

Da bi sustavi automatski vođenih vozila mogli funkcionirati u skladištu u kojem su instalirani te izvršavati svoju namjenu bez poteškoća bitno je da imaju sposobnost ostvarivanja nekoliko osnovnih funkcija a to su (prema izvoru [9]):

- vođenje (*eng. guidance*)
- usmjeravanje (*eng. routing*)
- regulacija prometa (*eng. traffic management*)
- pretovar (*eng. load transfer*)
- upravljanje (*eng. system management*)

3.3.1. Vođenje (eng. guidance)

Funkcija sustava automatski vođenih vozila koja vozilima omogućuje da prati predefiniranu stazu naziva se vođenje (eng. *guidance*) ili navigacija.

Vođenje omogućuje vozilu da prati predefiniranu stazu koja je optimizirana za tijek materijala u konkretnom slučaju. Postoje različite metode vođenja u primjeni (principi vođenja), koje su svrstane u dvije osnovne grupe[9]:

- s fiksnim putevima (s vodećom crtom) i
- slobodim putevima (bez vodeće crte)

Vezano za vođenje treba razlikovati dva različita kontrolna faktora: **regulacija** i **navigacija**. Regulacija je proces korekcije pozicije i orijentacije vozila. Navigacija je proces određivanja pozicije i orijentacije.

3.3.1.1. Vođenje s fiksnim putevima

Mehaničko vođenje

Jedan od principa vođenja fiksnim putevima je mehaničko vođenje. Mehaničko vođenje je vođenje kod kojeg se vozilo kreće po utorima u podu ili čvrstim stazama kao što su tračnice za vođenje vozila (primjeri takvih vozila su prikazani na slikama 12 i 13). Takva vozila najčešće rade kretanja naprijed ili nazad. Vozilo ima kotače namijenjene za kretanje po tračnicama i kreće se onom putanjom kojom su postavljene tračnice. Takvo rješenje je vrlo nefleksibilno i problematično kod takvog principa vođenja je javljanje potrebe za uklanjanjem prikolica s vučnog vozila, kvar na vozilu koji može prouzrokovati nepotreban zastoј ostalih vozila pri čemu se tada treba imati više kolosijeka što automatski proširuje prostor predviđen za djelovanje vozila.

Također je problem kod proširenja rada zone pri čemu se treba ponovno graditi mreža tračnica što iziskuje mnogo vremena i velike investicijske troškove.[9]



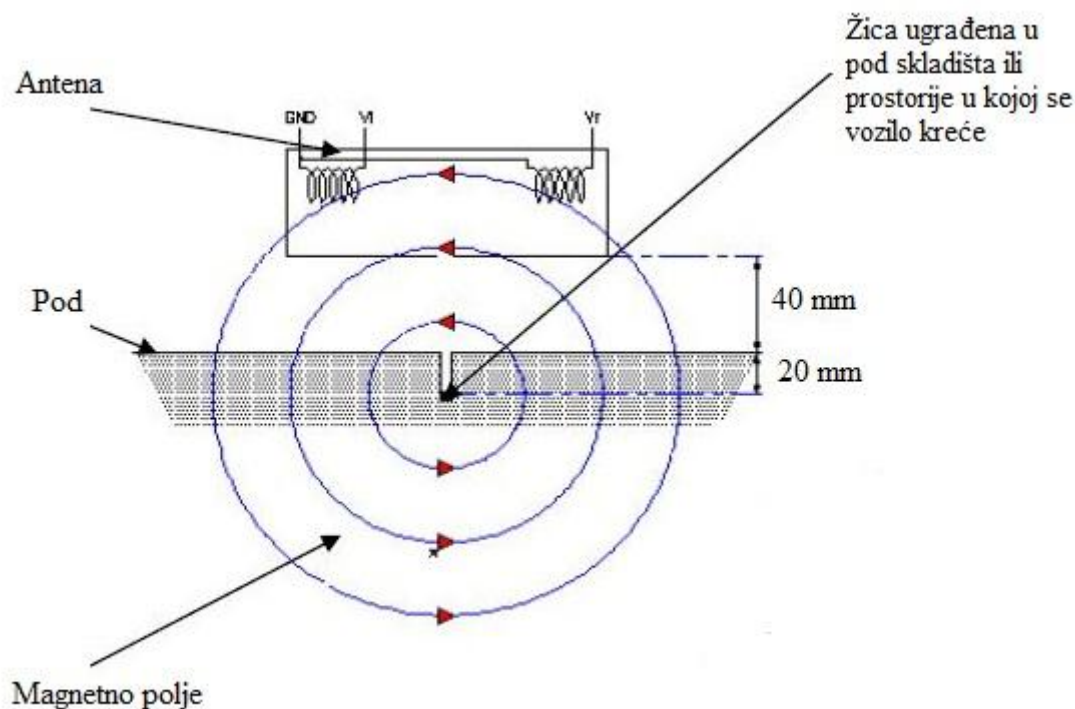
Slika 12: Mehaničko vođenje AGV



Slika 13: Mreža mehaničkog vođenja u skladištu

Indukcijsko vođenje

U prošlosti najprimjenjivanija metoda vođenja (ali i danas česta u primjeni) je indukcijsko vođenje. Indukcijsko vođenje ostvaruje se vodičem ugrađenim u pod i upravljačkim uređajem na vozilu. Prolazom električne struje kroz vodič stvara se magnetsko polje koje u zavojnicama antene na vozilu inducira napon. Razlika napona u zavojnicama antene glavni je parametar za regulaciju smjera kretanja vozila, princip rada indukcijskog vođenja prikazan je na slici 14). Rješenja transportnih staza s indukcijskim vođenjem vozila najčešća su u praksi, a imaju slijedeće prednosti: velika fleksibilnost sustava u smislu jednostavnog proširivanje mreže transportnih puteva i kapaciteta sustava (broja vozila), niski troškovi gradnje te omogućavanje pristupa vozila mjestu posluživanja. Nedostatak je u fleksibilnosti u smislu modifikacije transportnih puteva i pozicioniranja vozila.[9]



Slika 14: Ilustracija principa rada kod indukcijskog vođenja

Optičko vođenje

Optičko vođenje vozila postiže se pomoću fotoćelije i ucertane ili zalijepljene trake na podu. Vozilo se kreće po podu, a smjerom kretanja upravlja se na temelju kontrasta između poda i trake. Nema široku primjenu u praksi zbog potrebe održavanja određene čistoće poda (a s time povezanom pouzdanošću), iako je fleksibilnost u smislu modifikacije puteva veća zbog jednostavnog lijepljenja trake na pod.

Postoje i principi pomoću magneta, žiroskopa, co-ordinatnog sustava, te njihove različite kombinacije za vođenje fiksnim putevima, ali u praksi nisu naišli na široku primjenu.

Svi navedeni principi koriste se za regulaciju kretanja vozila po predefiniranoj stazi. Za regulaciju pozicije uzduž staze i brzine kretanja koriste se magneti uzduž staze za određivanje "apsolutne pozicije", a između njih procjenjuje se pozicija odometrijom. Takva navigacija podložna je greškama zbog proklizavanja (nečistog poda).

Pri vođenju trakom, vozilo mora neprestano biti u dometu trake kako bi se moglo kretati svojim putem, te nije najpreciznija metoda vođenja. Ipak, ova metoda je najjeftinija, te nema zahtjevnju ugradnju. Sve što je potrebno, u smislu pripreme okoline, jest pravilno nalijepiti odgovarajuću traku na putanju vozila.[9]

Slika 15 na slijedećoj stranici pokazuje primjer jednog vozila sa optičkim vođenjem pri čemu je na podu zalijepljena traka po kojoj se kreće to vozilo.



Slika 15: Prikaz jednog AGV vozila sa optičkim vođenjem

3.3.1.2. Vođenje slobodnim putevima

Za razliku od metoda vođenja s fiksnim putevima, prilikom čega vozilo prati stvarnu stazu (ugrađenu ili nalijepljenu/nacrtanu), metodama vođenja slobodnim putevima navigaciju vozila obavlja software, a vozilo prati "nevidljivu" predefiniranu stazu (ili u najnovijim rješenjima vozilo samo traži stazu neovisno o preprekama).

Lasersko vođenje

Lasersko vođenje bazira se na pozicioniranju pomoću koordinata koje se određuju reflektiranjem laserskih zraka od unaprijed postavljenih reflektora (na zidovima, strojevima, regalima,...). Takav sustav je najveće fleksibilnosti i jednostavne instalacije, te je u zadnje vrijeme sve češći u praksi. Prikladan je za sve tipove radnog prostora (unutarnjeg i vanjskog), neovisan o vremenskim uvjetima. Zbog brzine rotiranja lasera određivanje pozicije i orijentacije moguća je točnije (apsolutne pozicije i orijentacije daleko češće) nego magnetima i odometrijom (takvo vozilo je prikazano na slici 16).

Vozilo sadrži laser koji pomoću zrake mjeri koliko se približio i u koju stranu prostora u kojem se kreće te zavisno od mjesta čita s traka (koja je zalijepljena na zidovima skladišta) koliko je udaljen (postoji karta u memoriji glavnog računala vozila koju čita pomoću lasera, te po određenim kodovima točno zna gdje se nalazi u skladištu). Problem se javlja kada do prekida laserske zrake, dakle bilo bi idealno da je samo jedno vozilo u prostoru kretanja tako da ne dolazi do presijecanja puta ili da su dobro usklađeni međusobno da se ne sreću. Laseri mogu biti: modularni i pulsirajući.

Vrlo česta metoda vođenja slobodnim putevima je i inercijalna metoda pomoću žiroskopa i magneta. Žiroskopom se održava smjer kretanja vozila, dok magneti u podu služe kao referentne točke za korekciju pozicije.



Slika 16: Primjer AGV vozila navođenog laserskim upravljanjem

Vizijsko vođenje

Najnoviji trend vođenja AGV vozila je vizijsko vođenje, a takva vozila s takvim načinom vođenja proizvode se u tvrtki „Seegrid“. Da bi se optimizirali poslovni procesi i procesi skladištenja materijala u industriju se uvode vizijski načini vođenja za paletna i ostala vozila. U samom vozilu postoji program u kojem se integrirana mreža rastera mjesta gdje vozilo djeluje (npr. raster skladišta ili proizvodnog sustava i sl.)

Vođenje se temelji na tome da se u vozilo preko tipkovnice unese ruta kojom ono mora ići, i tada ono bez ikakvih žica, lasera, zalijepljenih vrpca na podu može doći do tražene lokacije i odložiti ili izuzeti palete. Navedena tvrtka proizvodi vučna i paletna vozila s takvim principom vođenja, na slici na slijedećoj stranici će biti prikazana tipkovnica na jednom takvom vozilu preko koje se unosi ruta u program vozila (Slika 17.) [26]



Slika 17: Prikaz tipkovnice za unos rute na AGV vozilu iz tvrtke „Seegrid“

Vođenje ultrazvukom

Vođenje ultrazvukom omogućava navigaciju u odnosu na vertikalne površine. Trenutno nije u komercijalnoj primjeni.

Vođenje GPS tehnologijom

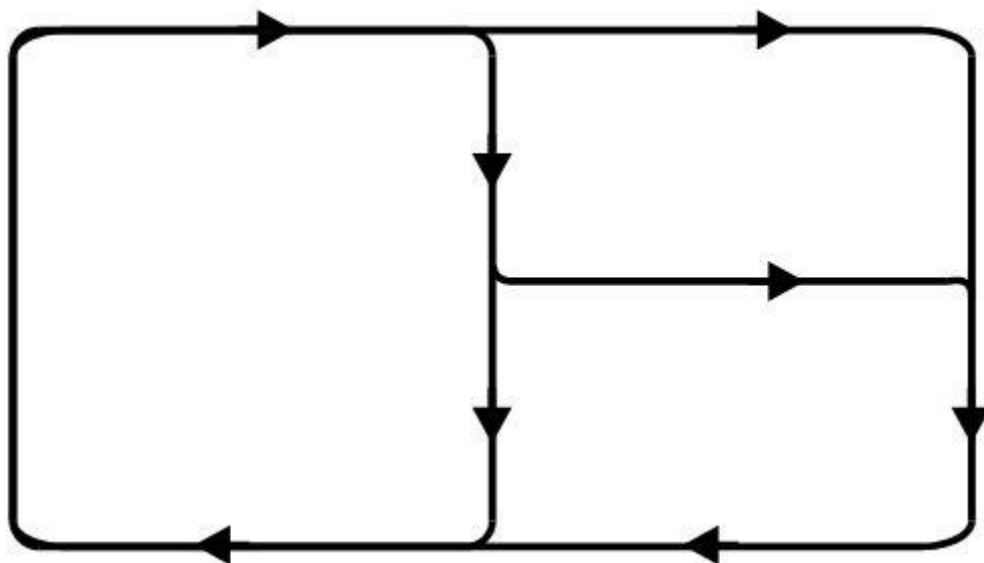
Vođenje GPS tehnologijom danas također nije široko rasprostranjeno(samo na otvorenom) jer zgrade i drugi objekti stvaraju interferenciju. Ovisi o dobroj usmjerenosti na satelite. Procjena je da će u budućnosti primjena pratiti razvoj i poboljšanja te tehnologije.

3.3.2 Usmjeravanje (eng. routing)

Usmjeravanje vozila je odlučivanje puta kretanja u smislu odabira optimalne rute do određene destinacije. Općenito, postoje dvije metode usmjeravanja automatski vođenih vozila:

- metoda izbora frekvencije
- metoda izbora prekidačem

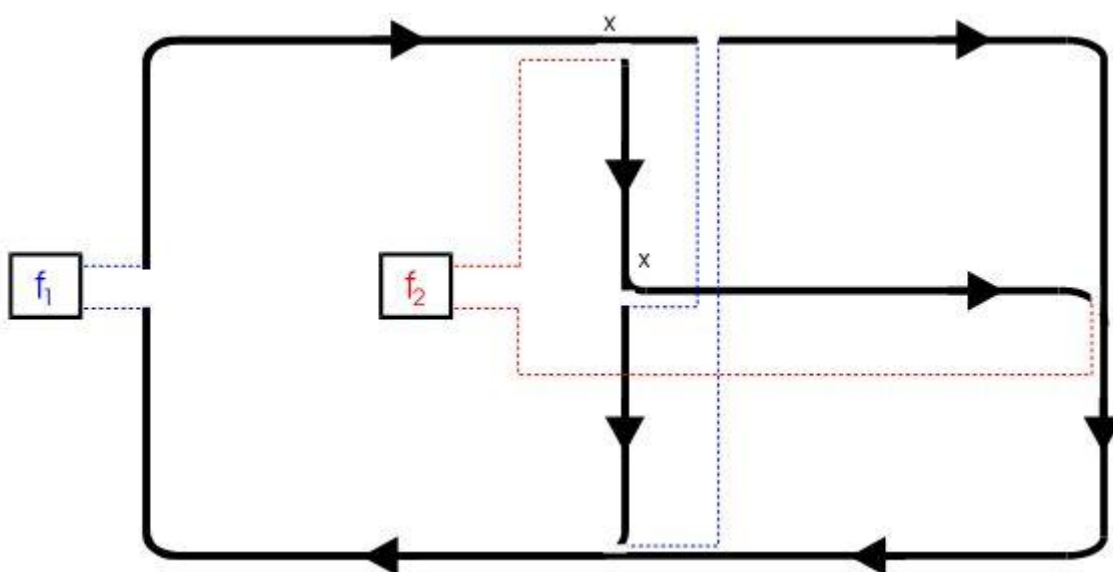
Jednostavan prikaz na slici 18. demonstrira ta dva koncepta. Postoje dvije lokacije na kojima se staza dijeli u dva smjera – točke odlučivanja. Također postoje dvije točke gdje se o dvije staze spajaju u jednu – točke spajanja.



Slika 18: Prikaz mreže puteva

Metoda izbora frekvencije

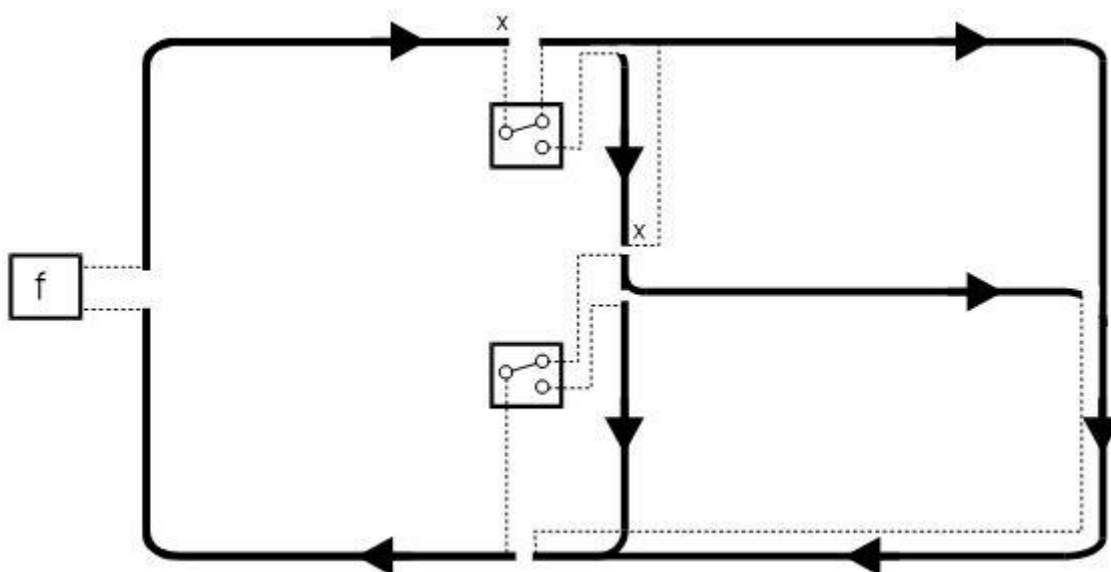
Metodom izbora frekvencije vozilo nakon dolaska do točke odlučivanja (pasivni uređaj, najčešće magnet) odabire frekvenciju koju će pratiti, i time je obavljeno usmjeravanje (shematski prikaz na slici 19.).



Slika 19: Metoda izbora frekvencije

Metoda izbora prekidačem

Metodom izbora prekidačem vozilo nakon dolaska do točke odlučivanja i daje nalog uređaju koji uključuje jednu stazu, dok drugu isključuje. Vozilo tako može pratiti samo jednu stazu i time je usmjeravanje obavljeno (shematski prikaz na slici 20.).



Slika 20: Metoda izbora prekidačem

Usporedbom ovih dviju metoda zaključujem da se metoda usmjeravanja pomoću izbora frekvencije oslanja na samo vozilo koje bira odgovarajući put određene frekvencije, dok metoda izbora prekidačem koristi kontrole na podu koje uzrokuju praćenje određenog puta od strane vozila.

3.3.3. Regulacija prometa (eng. traffic management)

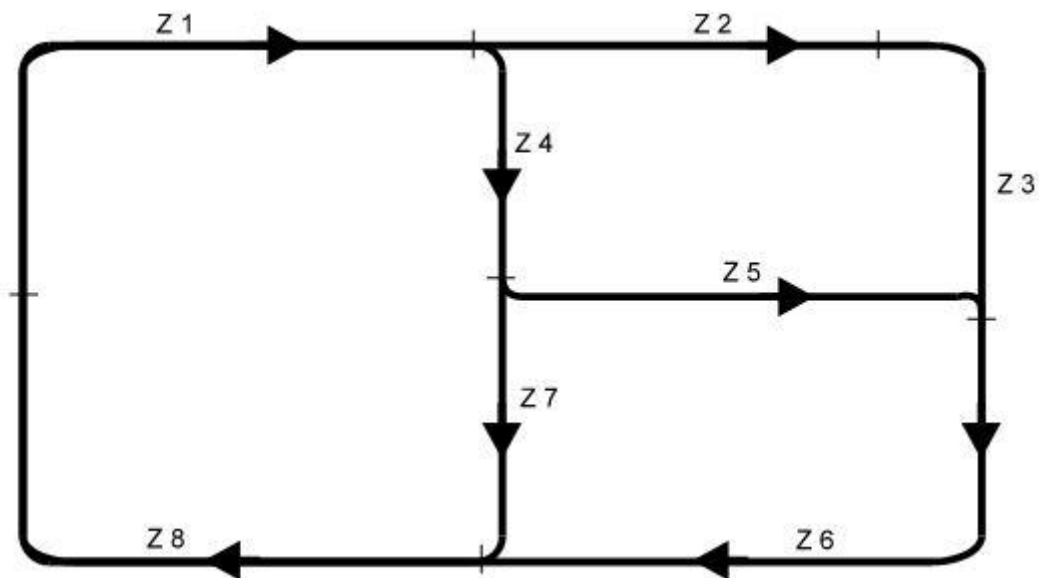
U skladištu s obzirom na razgranatost mreže puteva više vozila jedna od funkcija sustava svakako je i regulacija (upravljanje) prometom.

Regulacija prometa predstavlja sposobnost sustava ili vozila da izbjegnu sudare, istovremeno maksimizirajući tijek vozila a time i materijala. Postoje općenito tri tipa regulacije prometa u uporabi:

- Kontrola zone
- Senzorska kontrola
- Kombinatorna kontrola

Kontrola zone

Kontrola zone najpopularniji je i najšire korišteni tip regulacije prometa. Layout staza podijeli se u zone (shema na slici 21.). Princip regulacije prometa kontrolom zone je da samo jedno vozilo može zauzeti određenu zonu, dok se slijedeće vozilo koje želi ući u tu zonu mora zaustaviti i pričekati dok vodeće prvo vozilo ne napusti tu zonu. Unutar jedne zone može biti više mjesta zaustavljanja, i vozilo u toj zoni nesmetano može voziti od jednog do drugog mjesta.



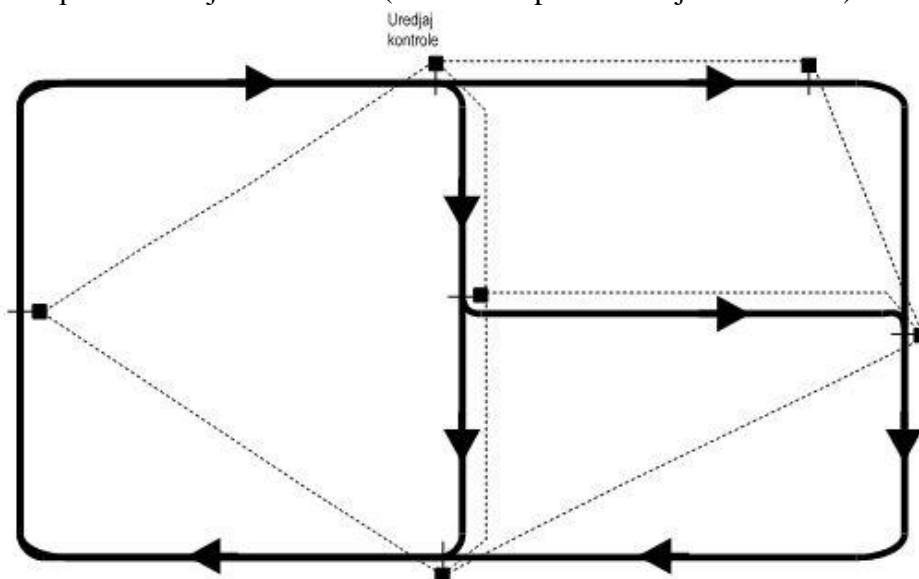
Slika 21: Layout zona

Postoje tri metode kojima se ostvaruje regulacija prometa kontrolom zone:

- Metoda distribuirane kontrole zone
- Metoda centralne kontrole zone
- Metoda kontrole zone vozilima

Metoda distribuirane kontrole zone

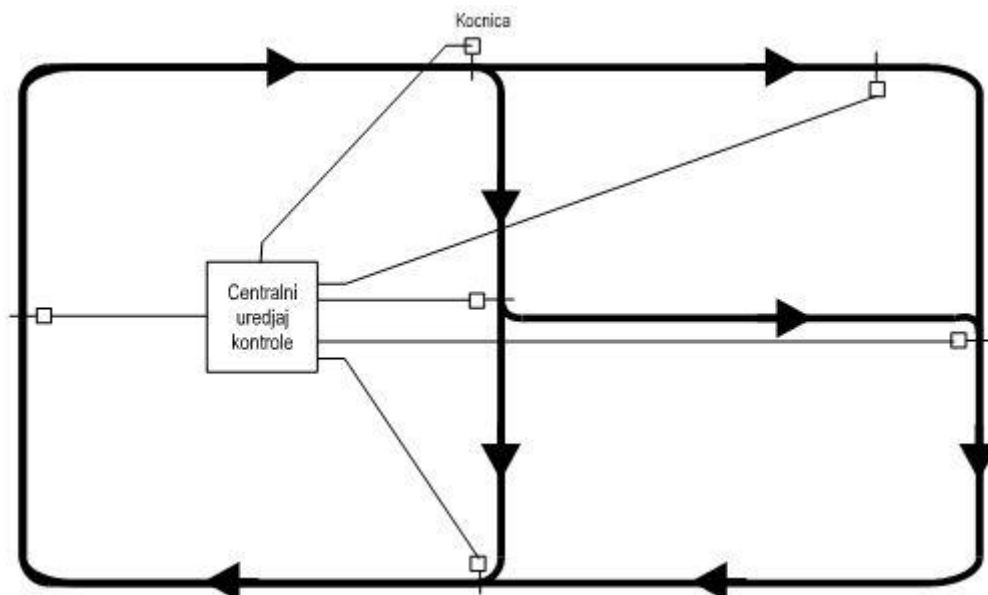
Metoda distribuirane kontrole zone koristi individualnu kontrolu svake zone, povezane međusobno samo sekvencijalno. Uređaj kontrole zone povezan je s kočnicom pomoću koje se određeno vozilo zaustavlja pri ulasku u zonu ukoliko se u toj zoni nalazi neko drugo vozilo. Kada to vozilo napusti zonu i nastavlja vožnju u slijedećoj, uređaj slijedeće zone šalje signal uređaju zone ispred da isključi kočnicu. (Shematski prikaz dan je slikom 22.)



Slika 22: Shematski prikaz metoda distribuirane kontrole zone

Metoda centralne kontrole zone

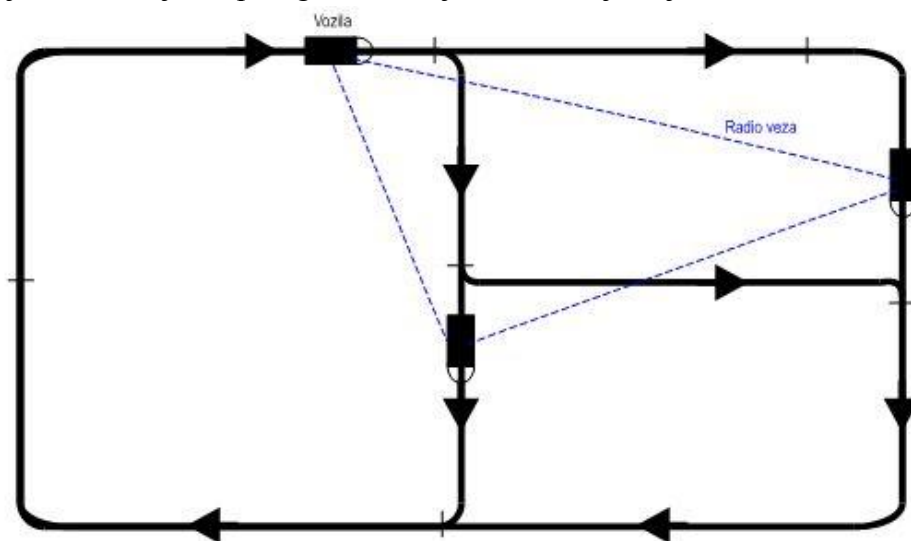
Metoda centralne kontrole zone koristi isti princip, samo što kočnicama upravlja jedan centralni kontroler. Umjesto da svaka zona ima svoj kontrolni uređaj, centralni kontroler regulira cijelu mrežu. Kada vozilo dođe do kontrolne točke (ulaza u zonu), to javlja centralnom kontroleru, te ukoliko je slijedeća zona slobodna, centralni kontroler javlja vozilu da može ući. U protivnom, vozilo čeka na dozvolu. (Shematski prikaz dan je na slici 23.)



Slika 23: Shematski prikaz metoda centralne kontrole zone

Metoda kontrole zone vozilima

Metoda kontrole zone vozilima je najnovija metoda, u kojoj vozila sam komuniciraju radio vezom, te nema potrebe za kontrolnim uređajima. Prelaskom preko oznake za početak zone, vozilo šalje tu informaciju drugim vozilima. Drugo vozilo pri ulasku u tu zonu staje i čeka dok ne dobije informaciju od prvog vozila da je ušlo u svoju slijedeću zonu. (Slika 24.)



Slika 24: Shematski prikaz metoda kontrole zone vozilima

Svaka od spomenute tri metode ima svoje prednosti i nedostatke. Metoda distribuirane kontrole zone zahtjeva više kontrolnih uređaja, te se koristi za manje sustave. Metoda centralne kontrole zone koristi se u većim sustavima, no kvarom centralnog kontrolnog uređaja staje cijeli sustav. Metoda kontrole zone vozilima je najnovija i bazira se na uporabi mikroprocesora i sofisticiranog software-a na vozilu. Kvar je limitiran samo na jedno vozilo, a ne na cijeli sustav.

Porastom broja zona raste stupanj kretanja vozila. Kod prve dvije spomenute metode cijena raste ovisno o broju zona za fiksni iznos. Kod treće metode cijena kontrole već je uključena u cijenu vozila, te broj zona nema utjecaja. Zbog toga sustavi s kontrolom zone vozilima imaju optimalni broj zona za najbolje kretanje vozila, i taj broj je daleko veći u usporedbi s sustavima s distribuiranom ili centralnom kontrolom zona za regulaciju prometa.

Senzorska kontrola

Senzorska kontrola bazira se na senzorskom sustavu ugrađenom na vozila za određivanje prisutnosti drugog vozila ispred. U praksi se koriste tri tipa senzora: sonični (radarski princip), optički (infracrvene zrake) i odbojnik (fizički kontakt). Te metode prikladne su za regulaciju prometa na ravnim dijelovima, i glavna prednost joj je što omogućuje veću gustoću prometa u sustavu. Na zavojima se nadopunjuje s nekim oblicima kontrole zona. Nedostatak je što se tom metodom ne može riješiti regulacija prometa u mreži puteva s križanjima.

Kombinatorna kontrola

Kombinirana metoda kontrole prometa je kombinacija prve dvije metode, kojom se na ravnim putevima pomoću senzorske kontrole omogućuje veća gustoća prometa, a na mjestima razdvajanja i spajanja puteva koristi se kontrola zone. Takvi sustavi zahtijevaju vozila koja su sposobna odgovoriti na oba tipa kontrole, ovisno o području u kojem se nalaze, što je povezano s većim investicijskim troškovima.

3.3.4. Pretovar ili prekrcaj (eng. load transfer)

Pretovar tereta podrazumijeva metodu utovara i istovara tereta, koja može biti jednostavna ili integrirana s drugim podsustavima. Postoje različite metode pretovara ili prekrcaja, neke od njih su opisane dalje u tekstu.

Ručna metoda - radnik spaja ili razdvaja vučna vozila, viličarom stavlja ili izuzima teret s AGV-a, ili direktno ručno stavlja teret na AGV.

Metoda automatskog spajanja i razdvajanja - koristi se u sustavu automatski vođenih vučnih vozila, koje centralno računalo usmjerava na posebne staze vožnjom unatrag na spajanje, odnosno vožnjom naprijed na razdvajanje.

Metoda prekrcaja valjčanim, trakastim ili lančanim konvejerom - koristi se u sustavima s jediničnim teretima koji na sebi imaju takve platforme, te automatski rade prekrcaj tereta. U nekim izvedbama AGV sustava vučna vozila vuku prikolice slične izvedbe. Takva metoda zahtjeva dobru preciznost pozicioniranja i komunikaciju između vozila i fiksne stanice za prekrcaj.

Metodu dizanja i spuštanja - zapravo čine tri metode, ovisno o vrsti vozila. Paletna vozila dižu/spuštaju teret s/na pod. Vozila jediničnih tereta opremljena su s podiznom platformom, ulaze u posebno oblikovane fiksne stanice za prekrcaj, te podizanjem platforme dižu teret, i obrnuto. Viličari pak zbog svoje izvedbe mogu podići/odložiti teret i na pod i na fiksne stanice, pa i u regale. Primjena im je u većim sustavima, gdje mnogi konvejeri i stanice za prekrcaj nisu iste visine. Metoda povuci/guraj relativno se rijetko koristi. Iako su izvedbe vozila jednostavne i jeftinije (nema potrebe za mehanizmom prekrcaja), kod stanice za prekrcaj potreban je mehanizam za automatsko povlačenje i guranje. Primjena im može biti u sustavima s centraliziranim mjestom za prekrcaj zbog troškova takvih uređaja.

3.3.5. Upravljanje (eng. system management)

Upravljanje podrazumijeva metode kontrole sustava koje se koriste za sam rad sustava. Može se podijeliti u dva područja:

- Dispečerske metode (*eng. vehicle-dispatch methods*),
- Metode monitoringa sustava (*eng. system-monitoring methods*)

Dispečerske metode

Dispečerske metode mogu biti različito izvedene, s kontrolnim tablama na vozilima kojima operater zadaje zadatke, do kontrolnih točaka na stanicama gdje operater vozilu zadaje slijedeći zadatak, centraliziranog mjesta kontrole s operaterom za sva vozila, pa do potpuno kompjuterski upravljanim sustavom i njihove različite kombinacije. U potpuno računalno upravljanim sustavima centralni računalni sustav obavlja funkcije usmjeravanja, regulacije prometa i komunikaciju s vozilima, a najčešće je integralni dio većeg upravljačkog sustava (računalo sustava rukovanja materijalom, računalo poduzeća).

Metode monitoringa

Veliki AGV sustavi instaliraju se zbog potrebe velikog protoka materijala i visokog zahtjeva za automatizaciju. Prekid rada ili usporenje u takvim sustavima, ukoliko nisu pravovremeno detektirani, mogu stvoriti znatne probleme. Zbog toga takvi sustavi moraju imati i adekvatnu kontrolu rada, primjenom određene metode monitoringa.

4. PODRUČJA PRIMJENE AGV VOZILA

AGV vozila koriste se u raznim granama industrije i raznim djelatnostima. Ponajviše im je dakako primjena u obavljanju transportnih zadataka koji se događaju s ponavljanjem.

Kao posebnost koja se u novije vrijeme sve više događa je primjena ovih vozila u obavljanju i skladišnih aktivnosti. Stoga će se ilustracije takvih primjera prikazati zasebno u poglavlju 5.

U nastavku ovog poglavlja prikazati će se raznolika primjena AGV vozila u obavljanju transportnih zadataka, u okviru različitih grana industrije.

4.1. Primjena u montaži

Za primjer primjene AGV vozila u montažnoj industriji biti će prikazan detaljan primjer case-a „John Deer“ koji su problem proizvodnje i montaže traktorskih kabina riješili na način da su uveli odgovarajuću vrstu AGV vozila te kao rezultat uvođenja AGV vozila uštedjeli u radu, dobili sigurnije radno okruženje i poboljšanu kvalitetu.

Na temelju provedenih mjerenja i proračuna u tvrtki su došli do zaključka da postoji potreba za uvođenjem automatski vođenih vozila iz razloga jer će tada radnici raditi efikasnije, povećati će se proizvodnja bez povećanja radne snage.

Tvrtka Deere je svakako bila u potrazi za štednjom u radu tako da automatiziraju sve svoje pogone, ali također i u potrazi za rješenjem koje će donijeti novu razinu sigurnosti i fleksibilnosti na njihovo poslovanje.

Uvođenjem AGV tehnologije zamijenjena je konvencionalna montaža koja se odvijala na konvejerima, sada osoblje može pristupiti traktorskim kabinama koje se nalaze na AGV vozilu sa svih strana kao što prikazuje slika 25 i omogućuje osoblju siguran i kvalitetan rad.



Slika 25: Prikaz traktorske kabine na AGV vozilu prilikom montaže

Kod uvođenja AGV vozila najprije su u tvrtki obavljena detaljna ispitivanja koja je optimalna vrsta AGV vozila i došlo se do zaključka da treba uvesti AGV vozila specijalne namjene koja će osiguravati dovoljnu fleksibilnost, brzinu kretanja, te točnost i pouzdanost.

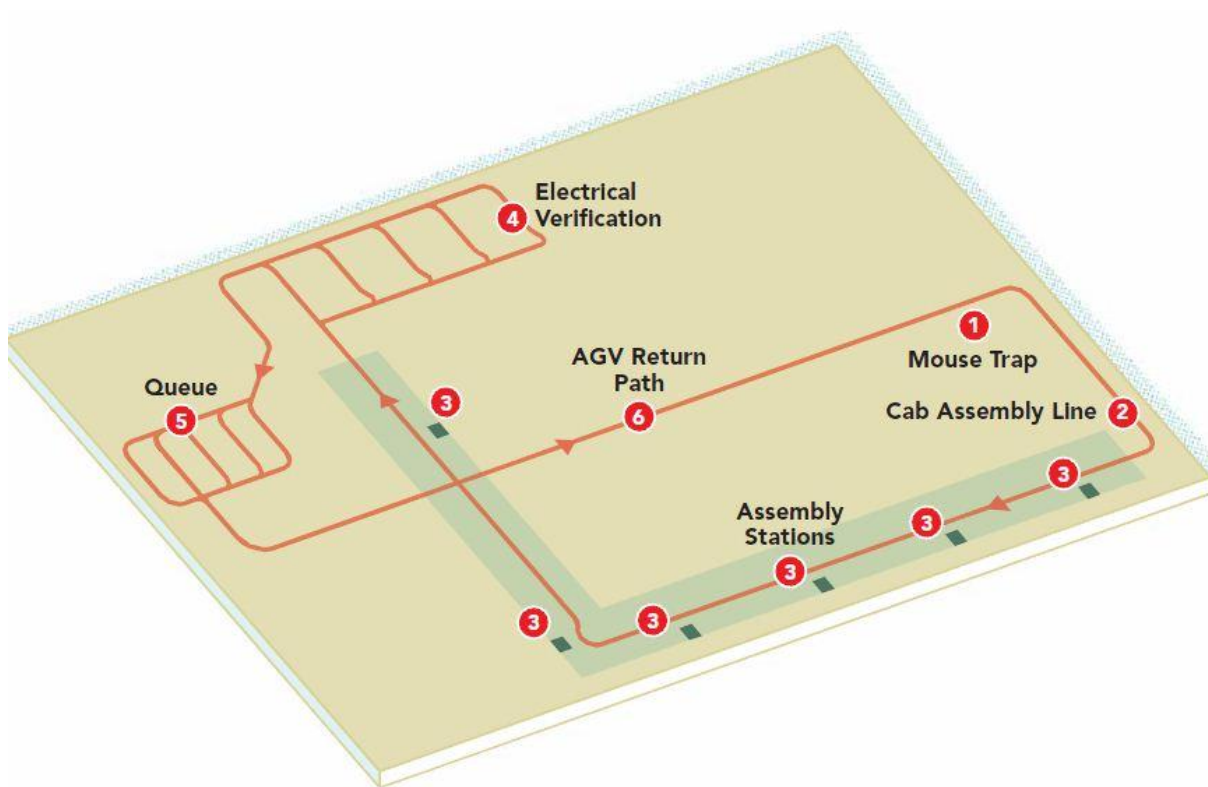


Slika 26: AGV vozila u proizvodnom sustavu „John Deer“

Automatski vođena vozila u tvrtki „John Deer“ prevoze traktorske kabine tijekom kompletne izrade kabine i na kraju kontrole kvalitete, sustav je jednostavan i učinkovit, a prikazan je u slijedećim koracima, koristeći oznake na slici 31.

Proces započinje kada zavarena i obojana kabina ulazi u proizvodni prostor te se postavlja na AGV vozilo, od tamo, kabina odlazi u sklop linija gdje se vrši modularno sastavljanje(1). Na početku montažne linije sustav automatski očitava serijski broj kabine i pridružuje ju određenom AGV vozilu na kojem se nalazi, pri tome se točno zna koje je vozilo tokom cijelog procesa prevozilo koju kabinu. Tada vozilo s kabinom dalje kreće prema montažnoj liniji(2). Tijekom prolaza kroz montažnu liniju vozilo s kabinom prolazi kroz 12 montažnih stanica(3) i sustav na svakoj bilježi koja je operacija izvršena. Program za pokretanje AGV vozila i pojedini alati na montažnim stanicama su tako podešeni da vozilo ne može krenuti na slijedeću stanicu dok se alat ne vrati u svoj početni položaj, tj. dok ne izvrši operaciju.

Nakon izlaska iz montažne linije vozilo se kreće s kabinom prema odjelu za električnu verifikaciju(4) gdje se vrši kontrola kvalitete i dalje nastavlja prema odjelu za podizanje i daljnje prosljeđivanje za slijedeću montažu(5). Nakon podizanja kabine s vozila vozilo nastavlja povratnom rutom(6) i prikuplja slijedeću kabinu i dalje ponavlja proces.



Slika 27: Prikaz putanje AGV vozila u tvornici „John Deer“

4.2. Primjena u kemijskoj industriji

AGV vozilo može se dizajnirati za obradu svih materijala koji zahtijevaju oprezno rukovanje kao i za rukovanje opasnim tvarima u kemijskoj industriji (primjer takvog jednog vozila dan je na slici 28). Transport različitih kiselina i otpadnih tvari do mjesta njihovog odlaganja kao i transport i sigurno pohranjivanje opasnog otpada.

AGV vozila mogu obavljati zadatke koji se kontinuirano ponavljaju, s maksimalnom sigurnosti i pouzdanosti.



Slika 28: Primjena AGV vozila u kemijskoj industriji

3.3. Primjena u bolnicama

AGV vozila mogu se koristiti za bolnice i zdravstvene industrije. ATLIS (eng. Automated Transport i logistik integracy Systems) AGV posebno je dizajniran za bolnice i zdravstvene industrije kako bi osigurao siguran, učinkovit i automatski prijevoz robe. Primjer takve primjene je njemačkoj bolnici „Operatives Zentrum des Universitätsklinikums Leipzig (OKL)“, robu u pravilu prevozi automatska košaricu za materijal koja podrazumijeva rukovanje s medicinskim materijalima, kirurškim materijalima, posteljinom, otpadom i medicinski otpadom, vozilo koje bolnica koristi prikazano je na slici 29..

Ovo AGV vozilo je povezuje područja kao što su kuhinja, praonica rublja,pristanište za istovar otpada .itd. Zahtjevi za određeni bolnički materijal šalju se prijenosnim PAD računalom. Sustav je u potpunosti integriran i sposoban automatski pokretati vrata, dizala / liftova, košarice.



Slika 29: AGV vozilo sa primjenom u bolnici

Korištenje ATLIS AGV-a oslobađa se zaposlenice bolnice, te one mogu provesti maksimalnu količinu svog vremena isključivo na skrb o pacijentima. Ovo vozilo poboljšava sigurnost u bolnici sa svih strana smanjuje moguću ozljedu zaposlenica prilikom guranja kolica.

AGV vozilo prati sva kretanja materijala, a može imati prioritete na različita radna mjesta, tako da je najvažnija zadaća može biti dovršena prva (na primjer: kirurški potrošni materijal, hrana za pacijente, onda posteljina, zatim otpad, itd.) Ovo vozilo opremljeno je sa senzorima za otkrivanje prepreka koje se mogu pojaviti.

4.4. Primjena u metaloprerađivačkoj industriji

U proizvodnim postupcima sa metalnim prerađevinama vrlo bitan je element brzina kretanja materijala, poluproizvoda i proizvoda. Ta brzina kretanja materijala izravno utječe na troškove koji su povezani s isporukom sirovina, kretanjem i radom u procesu te moraju biti minimizirani, za to nam služe AGV sustavi u takvim metaloprerađivačkim industrijama, kao i za sigurniji transport materijala i efikasnije rukovanje.[17]



Slika 30: primjer AGV vozila u metaloprerađivačkoj industriji

4.5. Primjena u transportu kontejnera

AGV vozila koriste se uglavnom za skraćivanje vremena transporta i što manji utjecaj čovjeka, kako zbog sigurnosti ljudi tako i zato što neke terete ljudi jednostavno ne mogu podizati niti kontrolirati fizički. Jedan od primjera transporta AGV vozila je i transport kontejnera od istovarne stanice do utovarne stanice.

AGV vozilo kod prijevoza kontejnera dobiva naredbe preko daljinskog upravljača a za navigaciju koristi GPS sustav navođenja, vozilo sa kontejnerima je prikazano na slici 31..



Slika 31: Prikaz AGV vozila za transport kontejnera

Jedna vrsta transporta kontejnera pomoću AGV vozila koristi se pri transportu kontejnera u brodskim lukama, od istovarne stanice gdje vozilo prima kontejner s broda pa do utovarne stanice na vlak ili kamione za dalji prijevoz. Primjer je dan na slici 32:



Slika 32: Transport kontejnera u brodskim lukama pomoću AGV vozila

4.6. Primjena u proizvodnji papira

Primjena AGV vozila se može dakako koristiti i u onim granama industrije u kojima je potrebno precizno i točno rukovanje materijalom bez da ga se ošteti.

Jedan takav primjer je proizvodnja papira, tj. konkretno rukovanje materijalom u proizvodnji novina, pri čemu treba obratiti pozornost na to da su materijali i sirovine teški i mogu se oštetiti kod nestručnog rukovanja pa se iz tog razloga koriste AGV vozila.

Uglavnom se koriste vozila za prijevoz valjkastog materijala i tereta, a služe i za odlaganje i zbrinjavanje otpada istog tipa. Primjer je ilustriran na slici 33.



Slika 33: Prikaz AGV vozila u industriji proizvodnje papira

4.7. Primjena u automobilskoj industriji

AGV sustavi se mogu koristiti u svim oblicima automobilske industrije.

Koriste se za transport šasije vozila, motora vozila, okvira vozila. Automatski vođeno vozilo prevozi automobilske proizvode kroz cijeli sklop procesa proizvodnje pa sve do utovara, pri čemu mogu dakako i biti automatizirani u proces montaže i donositi i odnositi dijelove i potrošni materijal za proizvodne linije. Na slici 34 su prikazana AGV vozila u različitim oblicima auto-industrije.



Slika 34: AGV vozila u auto-industriji

4.8. Primjena u zrakoplovnoj industriji

U proizvodnji zrakoplova(zrakoplovnoj industriji) i dijelova za zrakoplove dijelovi su poprilično veliki i krhki što je idealno za upotrebu AGV vozila.

Primjer na slici 35 pokazuje AGV vozilo koje se koristi u proizvodnji repa zrakoplova. Automatski vođeno vozilo prikuplja proizvod i dostavlja ga u komoru za toplinsku obradu. Nakon obrade vozilo uzima dio(rep zrakoplova i prevozi ga u susjednu zgradu na daljnju obradu.



Slika 35: AGV vozila u zrakoplovnoj industriji

4.9. Primjena za pročišćavanje otpadnih voda

Kao što je već viđeno iz prijašnjih primjena AGV sustavi se koriste za različite grane industrije i za najrazličitije primjene. Jedna od njih koja se pomalo i razlikuje od ostalih je primjena vozila za pročišćavanje otpadnih voda.

Za tu vrstu primjene se koristi specijalno AGV brzo-rotacijsko vozilo prikazano na slici 36 i 37 dizajnirano za promjenjive razine voda, kao i za različit kemijski sastav voda u kojima se koristi, za vatrogasne vode, u spremnicima za miješanje voda i sl.



Slika 36: Izvedba AGV brzo-rotacijskog vozila

To je sustav opremljen sa propelerom, dinamički uravnotežen i montiran direktno na osovine od nehrđajućeg čelika. Takav sustav postiže odlične rezultate kod obrade otpadnih voda. Sustav je vrlo koristan kod postojbi potreba za dodavanje kisika i istovremeno ohlađivanje tekućine.

AGV ima izvrsnu aplikacijsku svestranost i osigurava stalan i učinkovit rad pri čemu se jedinice lako mogu premještati ili nadograđivati u ovisnosti o željama kupca.



Slika 37: Prikaz rada brzo-rotacijskog AGV vozila

5. PRIMJENA AGV VOZILA U SKLADIŠTU

U radu je već prije naglašeno, primjena AGV vozila u skladištima sve je učestalija. Pri čemu se AGV vozila već duže vremena koriste za obavljanje određenih transportnih zadataka unutar skladišta što je zapravo i osnovna funkcija tih vozila u skladišnom okruženju. U novije vrijeme primjena je proširena na obavljanje i ostalih skladišnih aktivnosti, kao što su uskladištenje i iskladištenje robe, komisioniranje te istovar i utovar robe iz odnosno u vozila vanjskog transporta.

5.1. Primjena u procesima uskladištenja i iskladištenja

AGV vozila imaju primjenu u operacijama uskladištenja i iskladištenja robe u skladištima. Ovisno o vrsti skladišta, načinu skladištenja mogu se rabiti razna AGV vozila. Najčešći primjeri upotrebe za uskladištenje i iskladištenje su AGV viličari. AGV viličari su prilagođeni različitim teretima i različitim zadacima.

Svako skladište može imati koristi od korištenja AGV vozila za prijevoz tereta u automatizirano skladište, kao dodatna korist je softwar-e za kontrolu pohranjivanja jedinica skladištenja na skladišnim lokacijama i mogućnost izuzimanja istih tih skladišnih lokacija na zahtjev jednostavnim pritiskom na gumb.

Jedan od primjera skladištenja poluproizvoda i proizvoda je primjer iz autoindustrije, slika 38 prikazuje skladištenje pojedinih dijelova u auto-industriji. Pri tome proizvođači automobila moraju staviti naglasak pri potražnji odgovarajućih vozila za skladište na pouzdanost istih jer je vrlo bitno pažljivo rukovanje materijalima kako ne bi došlo do oštećenja. Također sam proizvođač vrši instalaciju automatizirane jedinice što zahtijeva visok stupanj preciznosti. AGV-ovi zadaci u automobilskoj industriji uključuju automatsku isporuku sirovina, automatizirani rad u procesu proizvodnje pokretima između stanica, te transport gotovih proizvoda.

Skladištenje papira, novina ili plastične folije za industriju također zahtijeva primjenu AGV vozila. Kretanje rola brzo i efikasno je komplicirano, što zbog velike mase što zbog nemogućnosti bilo kojeg vozila da to pomakne ili premjesti na željeno mjesto. Ključ je ne oštetiti role papira ili plastičnih folija rukovanjem tijekom ovog procesa. Skladištenje papira u velikim rolama na regale prikazano je na slici 39.



Slika 38: Upotreba AGV vozila za skladištenje rezervnih dijelova u autoindustriji



Slika 39: Upotreba AGV vozila kod skladištenja papira

Da bi se došlo do maksimalnog korištenja slobodnog prostora, većina modernih skladišta i distribucijskih centara koristiti uske prolaze sa visokim regalima za slaganje i pohranu robe. Jedna od relativno novijih primjena automatski vođenih vozila je upravo kod takvih modernih skladišta i distribucijskih centara a to je primjena automatski vođenih visokoregalnih viličara u uskoprolaznim skladištima (eng. *VNA – very narrow aisle*), takvi viličari su prikazani na slici 40.

Ove izvedbe u praksi imaju visine dizanja i do 15 metara, a potrebne širine prolaza između regala samo su oko 1,8 metara (koriste se AGV viličari sa zakretnim vilicama). Time se zapravo po iskoristivosti visine i gustoći skladištenja ulazi u područje visokoregalnih automatiziranih skladišta. Ovakve izvedbe mogu se ugraditi i u postojeća, već izgrađena klasična skladišta.

S obzirom da ovakva izvedba AGV viličara može mijenjati prolaze između regala, ovako izvedeni sustavi omogućuju znatnu fleksibilnost. Uz to, moguće su tri opcije, prva je da AGV viličari mogu imati i kabinu i mjesto za vozača pa su još fleksibilniji. Druga opcija je da ovakav sustav može biti potpuno automatiziran (bez vozača, za odlaganje i izuzimanje paletnih jedinica). I treća opcija, s računalom upravljanim kretanjem viličara uzduž prolaza i dizanjem kabine, a ručnim komisioniranjem materijala manjih količina od palete, naziva se još i poluautomatiziran rad. Takvim načinom rada skladište postaje visokoregalno skladište za komisioniranje (eng. *person-on-board S/RS*).



Slika 40: Primjena AGV viličara u distribucijskim centrima

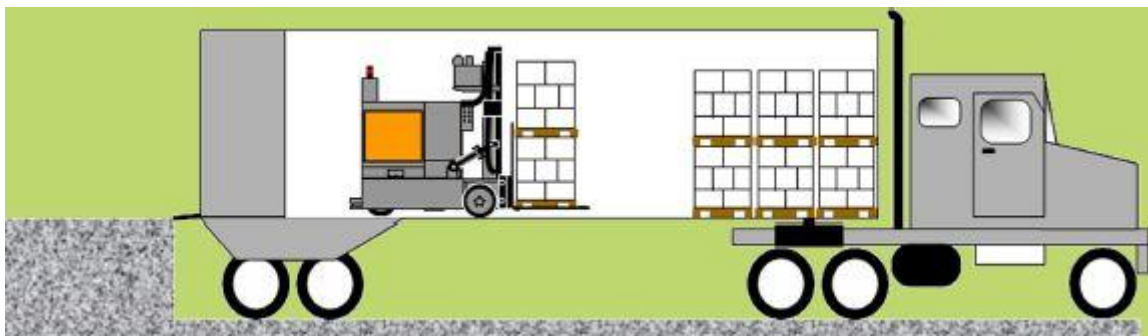
5.2. Primjena u procesima utovara i istovara

U pogledu upotrebe automatski vođenih vozila prilikom utovara odnosno istovara robe iz kamiona ili sličnog prijevoznog sredstva vanjskog transporta, taj način upotrebe AGV vozila spada u novije primjene automatski vođenih vozila.

Utovar/istovar robe je zahtjevna radnja pa su prema tome AGV vozila koja obavljaju taj proces sofisticiranija i složenija od onih koji služe za uskladištenje/iškladištenje robe.

To su uglavnom viličari izvedeni tako da imaju senzore sa bočnih strana kako bi mogli očitavati i provjeravati unutrašnjost kamiona(prikolice) u koji ulaze kao što je islustrirano na slici 42.

Kod pretovara tereta u vozila vanjskog transporta razvijen je sustav(SavantLoader) koji omogućuje AGV viličaru sposobnost ulaska u prikolicu kamiona bez ikakvog ručnog upravljanja na način da se prilagođava duljini prikolice, obliku i popunjenosti, prikaz na slici 41.. Osim toga sustav automatski prepoznaje izvitopereni kut prikolice i prilagođava se svakom položaju. Sustav za navođenje vozila se radi se od inercijskih žica i omogućuje navođenje i dostavu paletizirane robe u bilo kakve konvencionalne prikolice.



Slika 41: Prikaz AGV viličara prilikom ulaska u kamion i pretovara paletiziranog materijala bez ručnog upravljanja „SavantLoader“ sustavom

Takvi viličari su uglavnom inercijalnog su vođenja, s oznakama u podu i na skladišnim lokacijama za navigaciju i kalibriranje, omogućuju potpunu automatizaciju procesa istovara i utovara bez ikakvih potrebnih modifikacija na/u kamionima.

AGV vozila su u stanju pokupiti palete s transportera, stalka ili skele te ih prevesti u prikolicu u određenom položaju. Postoji izvedbe s jednostrukim i dvostrukim parom vilica, nosivosti preko 2 tone, s visinom dizanja 2,8 metara. Na slici ispod(Slika 45) je prikazano jedno takvo vozilo. Dakle može podići i voziti do željenog mjesta dvije palete odjednom. Prednost toga je brže obavljanje posla, kraći period utovara. Jedini nedostatak je ako slučajno treba jedna paleta jednog proizvoda i druga paleta nekog drugog proizvoda, tad to vozilo nije potpuno funkcionalno. Pogodnije je za skladišta jedne vrste robe.



Slika 42: Izvedba AGV viličara za utovar/istovar sa dvostrukim parom vilica

Prednosti AGV vozila koja se koriste za utovar/istovar su:

- Poboljšana sigurnost kretanja materijala AGV vozilom i kontrolirani i predvidljivi pokreti
- Ugrađeni sigurnosni senzori za otkrivanje dimenzija kamiona i nalaženje prepreka
- Znatno smanjena šteta koja nastaje zbog neopreznog rukovanja osjetljivim materijalima
- Smanjen kritični put, poboljšana sigurnost prijevoza kao i pouzdanost

Da bi takav sustav AGV vozila funkcionirao i da sve teklo prema planu potrebno je posjedovati danas vrlo napredno vozilo navedeno u tekstu gore, koje je opremljeno senzorima i može naciľjati i ući u kamion istovariti ili utovariti teret. Vrlo zanimljiva stavka u cijeloj prići je da vozilo posjeduje softwar-e koji bilježi podatke i toćno zna koliko paleta stane u kamionsku prikolicu i koliko puta je svaki ulazak i voźnja kroz prikolicu kraća.[6]

Neke tvrtke koje nude različita rješenja i najpogodnije izvedbe takvih AGV vozila za utovar/istovar su:

- *Savant Automation,*
- *Egemin i*
- *FMC Technologies*

Vozila se mogu opremiti s uređajima automatske identifikacije (barkod, RFID), a sustav upravljanja integrirati sa svim WMS i ERP sustavima što znaći potpuna automatizacija gotovo svih djelatnosti u procesu skladištenja bez ljudskog djelovanja.

5.3. Primjena u procesima povezivanja skladišnih zona

U skladištima postoje četiri skladišne zone. Skladišne zone podjeljene su s obzirom na vrstu posla koja se obavlja u svakoj zoni. Skladišne zone dijele se na (prema izvoru [1]):

- Skladišna zona za prijem robe, odnosi se na dio skladišta u koje se prvo dovozi roba,
- Skladišna zona za uskladištenje je dio skladišta u koji se skladišti roba na određeno vrijeme (nekad duže nekad kraće ovisno o protočnosti skladišta),
- Skladišna zona komisioniranja je dio skladišta za izuzimanje i odabir robe prije transporta,
- Skladišna zona izdavanja robe je dio skladišta u kojem se nalazi zapakirana roba spremna za transport iz skladišta.

Da bi skladište funkcioniralo i da bi zone bile međusobno povezane rabe se vučna vozila s prikolicama u obliku paletnih ili poličnih regala. Prilikom povezivanja skladišnih zona koriste se vučna AGV vozila koja imaju priključne prikolice (više komada), u obliku skladišnih regala na kotačima. Korištenjem ovog načina transporta postiže se maksimalna iskoristivost vozila i jednog prolaza AGV vozila. Ovim načinom možemo prevesti i nekoliko desetaka puta više paleta nego s paletnim vozilima.

Nakon istovara robe, običnim viličarima odlažu se pristigle palete na mobilne regale, koje onda automatski vođena vučna vozila transportiraju u skladišnu zonu, prikaz na slici 43, gdje opet klasični viličari u toj zoni vrše proces uskladištenja paleta. Isti nakon toga na mobilne regale utovaruju palete koje će biti otpremljene toga dana, a automatski vođena vozila ih odvoze u otpremnu zonu.

Ovakvim načinom povezivanja skladišnih zona pomoću AGV vozila osim smanjenja potrebnog broja vozila, a samim time i vozača (radne snage), drastično su smanjeni ukupni transportni putevi, a znatno je povećana i sigurnost prometa.



Slika 43: Prikaz povezivanja skladišnih zona AGV vozilima

Za primjer korištenja AGV vozila prilikom povezivanja skladišnih zona ću pokazati primjer u konkretnoj tvrtki, to je veliki distribucijski centar američke kompanije **SOLO CUP**. Naime, za povezivanje prijemne i skladišne zone, te skladišne zone i otpremne zone, koristi se šest automatski vođenih vučnih vozila (proizvođača **Dematic**), prikaz vozila na slici 44. Svako od njih vuče četiri kolica – mobilna regala s 4 paletne pozicije, dakle s maksimalno 16 paletnih jedinica.

Svakako da se u ovom primjeru radi o velikom centralnom distribucijskom skladištu, jer inače uvođenje AGV sustava u malo skladište bi bilo u potpunosti neisplativo.

Parametri velikog distribucijskog skladišta:

- kapaciteta 2,4 milijuna kutija,
- na 120000 kvadrata,
- protoka 17,2 miliona kutija godišnje,
- sa 110 zaposlenih i
- 65 viličara u 3 smjene.

Primjer pokazuje spoj visoke i niske tehnologije (AGV vozila koja prevoze kompletne regale, WMS sustavi, RF komunikacija i viličari kojima upravljaju ljudi).

Naime, s obzirom da je to centralno distribucijsko skladište, ulaz i izlaz robe uglavnom je u paletnim jedinicama, te se palete skladište tradicionalnim podnim naslagivanjem (u manjim količinama regalno kada sama roba nije pogodna za naslagivanje). No upravljanje skladištem u realnom vremenu pomoću suvremenog WMS-a, s RF komunikacijom i automatskom identifikacijom, te primjena automatski vođenih vozila primjer su primjene visoke tehnologije za povećanje produktivnosti i efikasnosti sustava.

Kao zaključak u spomenutom primjeru bitno je naglasiti da uvođenjem automatski vođenih vozila primjećuje se da ono što se prije radilo s 16 viličara, sada obavlja jedno automatski vođeno vozilo.



Slika 44: Primjer povezivanja skladišnih zona AGV vozilo u distribucijskom centru američke kompanije **SOLO CUP**

5.4. Primjena u sustavima komisioniranja

Primjena automatski vođenih vozila u sustavima skladištenja i komisioniranja je uglavnom primjenom malih AGV vozila i to kod komisioniranja kutija i pojedinačnih dijelova.

Primjenu ću također pokazati na primjeru firme **KIVA Systems** koja je osmislila sustav AGV vozila za komisioniranje i skladištenje manjih pozicija i poluproizvoda.

Oni su primijenili rješenje mobilnog sustava komisioniranja, s vozilom prikazanim na slici 46, po principu „roba čovjeku“ korištenjem malih automatiziranih podnih vozila.[21]

Kutije u paletnim jedinicama na posebnim nosačima („*CaseFetch*“) ili u policičnom regalu na posebnom nosaču („*ItemFetch*“) uskladištene su u centru skladišta.

Funkcija ovih vozila je dobivanje naredbe za odlazak na određenu lokaciju koja je definirana koordinatama skladišta i podizanja cijelog regala i transport regala do radne stanice na kojoj radnik obavlja komisioniranje i nakon toga vozilo odvozi regal na mjesto na kojem je regal bio.

Kiva „*ItemFetch*“ skladište je kao „branje“. Vozila dovoze regale do operatera, slika 45, koji izuzima iz raznih kutija ono što mu je potrebno i vozila nastavljaju svoje kretanje. Dakle ovaj način rada omogućuje operateru pristup bilo kojoj zoni skladišta da bi izuzeo potrebne predmete. Ovaj način rada omogućuje skraćenje vremena rada bolje iskorištenje operatera.



Slika 45: Primjer mobilnog sustava komisioniranja

Nakon što vozilo doveze regal do operatera sustav pokaže operateru koji proizvod treba izuzeti, iz dotičnog regala koji je dovezen, i koliko komada. Operater tada izuzima traženu robu. Izuzeti proizvodi tada prođu bar- kod čitače kao potvrdu i operater ih stavlja na nosače („*OrderFetch*“).

Nakon kompletiranja narudžbi nosače automatizirana vozila odvoze u otpremnu zonu DC-a, na točno mjesto, u pravo vrijeme s obzirom na redoslijed utovara, takav sustav omogućuje veliko povećanje fleksibilnosti.[21]

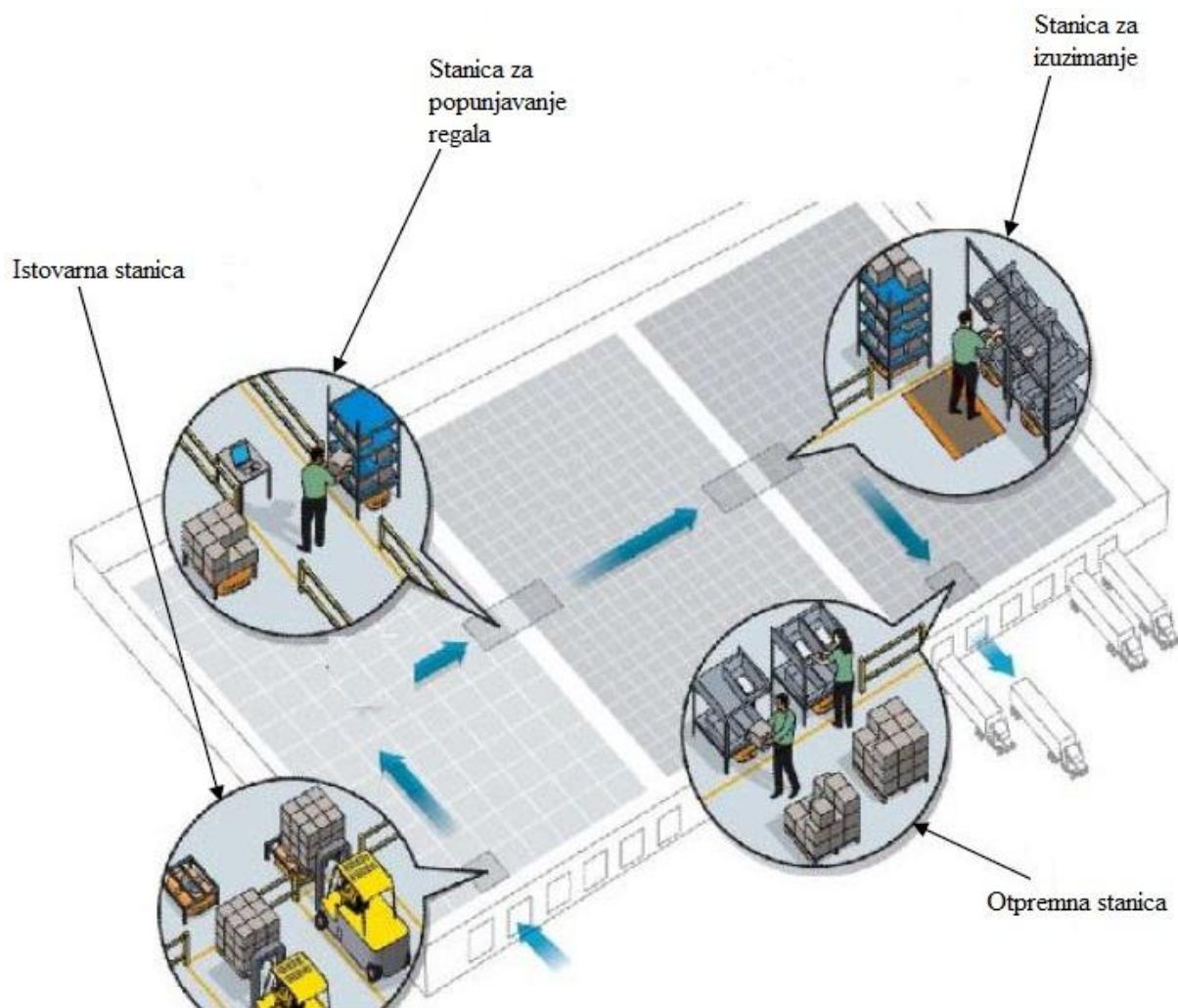


Slika 46: Prikaz skladišta sa podnim **KIVA** AGV vozilima

Prednosti ovakvih vozila su višestruke:

- povećanje produktivnosti,
- relativno niska cijena vozila
- povećanje fleksibilnosti
- dokazana sigurnost transporta
- visoka vremenska točnost vozila
- brz utovar u regale

Na slici 47 ilustrira se, i u nastavku opisuje, cjeloviti proces skladištenja od ulaza, preko popunjavanja (uskladištenja) i komisioniranja, do izlaza i utovara na kamione odnosno sredstva vanjskog transporta.



Slika 47: Tlocrt skladišta u kojem transport vrše **KIVA** AGV vozila

Istovarna stanica je mjesto na koje viličar dovozi paletu s kutijama robe i polaže ju na postolje za AGV vozilo. Nakon toga vozilo dolazi i pozicionira se ispod postolja, podiže postolje s paletom te kreće prema mjestu uskladištenja.

Stanica za popunjavanje regala je mjesto na kojem stoji operater, s jedne strane dolazi mu vozilo s praznim regalom a s druge strane dolazi vozilo s paletom iz skladišta. Njegov zadatak je pretovariti ručno kutije s palete na regal, i nakon toga pritisnuti tipke na oba vozila što znači da je obavio pretovar i da vozila mogu krenuti svako na svoju stranu, jedno vozilo odvozi praznu paletu dok drugo vozilo kreće prema drugom operateru koji se nalazi na stanici za izuzimanje.

Stanica za izuzimanje je mjesto na kojoj operater obavlja izuzimanje predmeta iz kutija i stavlja ih u plastične košare koje se nalaze na regalima koji su na AGV vozilima. Kao i u prethodnom slučaju po završetku posla operater mora vozilu dati do znanja da je obavio zadatak. Ta obavijest se vrši na način da pritisne tipku na vozilu na kojem je obavio zadatak. Tad vozila s regalima na kojima su plastične košare s izuzetim predmetima kreću prema otpremnoj stanici.

Otpremna stanica je mjesto gdje dolazi AGV vozilo s regalom na kojem su plastične košare. Operater također stoji na tom mjestu i nakon što vozilo dođe počinje postupak slaganja u kutije za otpremanje. U otpremnoj stanici kutije se slažu na palete koje viličar odvozi u kamion.

6. PRIKAZ GLAVNIH SVIJETSKIH PROIZVOĐAČA AGV SUSTAVA

U sljedećoj tabeli 1 koja je preuzeta sa izvora [8] navedeni su neki proizvođači AGV vozila, naravno, iz tabele je vidljivo da ne proizvode svi sve tipove vozila ali ih većina ima širi asortiman.

Tabela 1: Prikaz svjetskih proizvođača AGV vozila[8]

Kompanija	Vozila jediničnih tereta	Viličari	Vučna vozila	Mobilni roboti	AGC	Specijalna	Upravljanje
Amerden	x	x	x			x	
JBT Corp.	x	x	x	x		x	x
Creform Materials Handling Systems	x		x	x	x		x
Crown		x					
Daifuku Webb Holding Co.	x	x	x	x	x	x	x
LM Efacec	x	x				x	
Egemin Automation	x	x	x	x		x	x
Electric 80	x	x		x		x	x
Frog Navigation Systems	x	x				x	x
Kiva Systems				x			x
Kollmorgen							x
Mitsubishi Caterpillar Forklift America		x					
Murata Machinery USA	x	x		x		x	x
RMT Robotics					x		
Seegrid	x	x		x		x	x
SICK							x
SI Systems	x		x		x	x	
Transbotics	x	x	x		x	x	
Toyota Material Handling USA		x					

Nadalje, tabela 1 pokazuje samo neke proizvođače AGV vozila, ali to nisu svi proizvođači te ću u nastavku poglavlja navesti još nekoliko, s ciljem ilustracije asortimana proizvoda.

CORECON, Inc.

Corecon, Inc. je tvrtka osnovana u Americi i temelji se na pružanju usluga i podrške u industriji rukovanja materijalom s kvalitetnim automatski vođenim vozilima. Formirana je od strane nekoliko vodećih inženjera iz područja automatski vođenih vozila 1989. god. koji su bili uključeni u područja projektiranja, proizvodnje i ugradnje najvećeg AGV sustava u Sjevernoj Americi u to vrijeme.

U toku svog kontinuiranog rasta tvrtka Corecon se preselila u veće objekte u predgrađe Chicaga. Sav dizajn, inženjering, proizvodnja, montaža i ispitivanje potpunog AGV sustava vrši se u Illinoisu.

Corecon je jezgra kompetentnosti i fokus tvornica automatiziranih transportnih sustava s automatskim navođenjem vozila. U više od 20 god. iskustva razvili su više od trideset standardnih AGV dizajniranih vozila s po tri linije proizvoda.

Corecon tvrtka omogućuje kod kupnje njihovih proizvoda prodaju, strojarski i elektronički softwar-e zajedno sa montažom AGV sustava, instalaciju sustava, rezervne dijelove kao i popravak vozila.[19]

Njihovi AGV sustavi su dizajnirani kako bi sigurno i pouzdano prevozili robu unutar objekata.

Asortiman:

Corecon, Inc. svoje AGV proizvode proizvodi u 5 serija, od kojih su glavne tri serije nazvane imenom *Falcon*, *Eagle* i *Partiot*, te će one biti ilustrirane na slikama 49,50,51, koje sadrže više linija proizvoda unutar jedne serije.

FALCON Serija:

Ovo vozilo je dizajnirano iz razloga da bude vrlo izdržljivo i svestrano. Vozilo može biti vrlo jednostavno modificirano te može prevoziti robu različitih opterećenja i rukovati njom, projektirano je sa značajkama da se vrlo lako održava, da se smanji cijena održavanja, i da ima što dulji vijek trajanja.[19]



Slika 48: AGV vozila serije *Falcon*

EAGLE Serija:

Ova linija vozila je proizvedena i dizajnirana tako da funkcioniše sa specifičnim aplikacijama koje zahtijevaju nižu cijenu vozila. Ova AGV vozila su više kompaktnija od *Falcon* serije lakša po težini ali još uvijek zadovoljavajući vijek trajanja proizvoda.[19]



Slika 49: AGV vozila serije *Eagle*

PATRIOT Serija:

To je tradicionalna vrsta vozila koje tvrtka Coreco, Inc. proizvodi za specifične grane industrije, projektirana su za različite zadatke koji se mogu prilagođavati željama korisnika. Neke vrste ovih vozila su konvejeri, podizna vozila, paletna vozila, platforme i sl.[19]



Slika 50: Prikaz AGV vozila serije *Patriot*

Ako neko od navedenih vrsta i skupina vozila ne zadovoljava potrebe korisnika tada tvrtka izlazi u susret kupcu i proizvodi vozila po narudžbi prema određenim zahtjevima za rukovanje materijalom. Inženjeri Corecon tvrtke specijalizirani za razvoj proizvoda razvijaju i ispituju naručene posebne vrste AGV vozila i vrše ispitivanja do isporuke.

Tvrtka nudi mogućnost svojim dioničarima da vrate staro vozilo i u određenom trošku oni nadgrade to staro vozilo ili pak dopuštaju zamjenu „staro za novo“.

ROCLA

Finska tvrtka-Rocla bazira se na pomoći pri rukovanju materijalom na međunarodnoj razini. Tvrtka je značajno narasla u zadnjih 70 godina i postala je glavni proizvođač u razvoju skladišnih kamiona, viličara i automatski vođenih vozila.

Temelj poslovanja tvrtke je ulaganje i razvoj u automatski vođena vozila s primjenom za skladište. Inovacije u tom području su započele 1983. god. i do sada je tvrtka isporučila preko 7 000 AGV vozila različitim kupcima širom svijeta za različite grane industrija od kojih su glavne skladištenje i logistika ali i u ostale grane kao što su industrija proizvodnje papira, industrija hrane i pića i sl.

Tvrtka Rocla nudi svojim kupcima cijelu liniju modularnih rješenja za potpunu automatizaciju serijske proizvodnje u pogledu AGV vozila, njihovu instalaciju, programiranje, održavanje i popravak.

Tvrtka zapošljava više od 500 stručnjaka za rukovanje materijalom i od 2009. god. spada dio je *Mitsubishi Heavy Industries Group*. [22]

Asortiman:

Tvrtka nudi sve vrste AGV vozila ovisno parametrima potrebnim za rukovanje materijalom kao što su nosivost i veličina tereta. Postoji vrlo širok asortiman vozila koja su u ponudi od strane tvrtke kao što su paletna vozila, vozila za prijevoz velikih rola papira ili slično, vozila za prijevoz kaveza, kotrljajuća vozila ili ostalo, a prikazana su na slici 53.

Uglavnom tvrtka nudi brzu isporuku svih vozila sa garancijom poboljšanja i bržeg procesa skladištenja i proizvodnje.

U tvrtki se srše velika ulaganja i inovacije što se tiče energije u AGV vozilima, vozila imaju uglavnom ugrađene baterije koje se mogu puniti pa pridodaje se velik značaj razvoju baterija sa što većim kapacitetom tako da bi se osiguralo dugotrajan i neprekidan rad sustava.

Postoji širok izbor baterijskih tehnologija i metoda punjenja baterija koji kupac može odabrati sam za željeno vozilo pri čemu se ipak odabire metoda koja bi se prilagodila radnom okolišu vozila, broju smjena u radu, opterećenju koje vozilo podnosi i pri tome se naravno gleda omjer cijene i kvalitete.[22]



Slika 51: Prikaz nekih AGV vozila iz asortimana tvrtke *Rocla*

DEMATIC

Tvrtka Dematic je globalni lider koji pruža sveobuhvatan raspon logistike i logističkih rješenja rukovanja materijalom. U tvrtki je zaposleno preko 4 000 visokokvalificiranih stručnjaka logistike diljem svijeta.

Glavna prednost tvrtke je da ima pogone diljem svijeta a zemlje koje prednjače se SAD, Europa, Kina, Australija i sl. u kojima osigurava jednaku pouzdanost, fleksibilnost i troškovna rješenja u smislu rukovanja materijalom.

Najveći uspjeh tvrtke je to što su do sada razvili preko 5 000 integriranih sustava za različite klijente diljem svijeta.[27]

Asortiman:

Tvrtka Dematic nudi širok asortiman različitih vrsta vozila za rješenja kretanja materijala unutar skladišta i proizvodnog procesa pri čemu daju prednost razvoju i proizvodnji AGV vozila i integraciju AGV sustava u skladišta, a fleksibilnost i operativna učinkovitost je imperativ kod projektiranja tih vrsta vozila, neka od vozila tvrtke „Dematic“ su prikazana na slici 55.

Dematic pruža kompletnu liniju AGV sustava za podršku automatizacije skladišta i za rješenje kretanja materijala. Danas ima preko 2 500 AGV vozila koja je Dematic tvrtka proizvela za različite svjetske industrije.

Tvrtka razvrstava AGV vozila u dvije skupine(preuzeto iz izvora[27]):

- AGV vozila za automatizirano rješenje skladištenja
- AGV vozila za automatizirano rukovanje materijalom u proizvodnji

AGV vozila za automatizirano rješenje skladištenja:

Automatski vođena vozila tvrtke Dematic koja se koriste u skladištenju obrađuju širok raspon opterećenja tj. težina materijala, visina, širina materijala te su izvedena za različite dimenzije prolaza između regala u skladištu. Prema tome se izvode:

- AGV viličari visokog dosega
- Vrlo-uskoprolazni AGV viličari

Takvi AGV viličari se koriste u različitim skladištima, kao što su:

- Skladišta s jednostrukim regalima
- Skladišta s regalima s povratnim ladicama
- Skladišta s regalima koji imaju pogonske ladice
- Skladištima sa dvostrukim regalima po dubini
- Integrirani u VMS sustavu skladištenja

AGV vozila za automatizirano rukovanje materijalom u proizvodnji:

Proizvode se vozila uglavnom za horizontalni transport, koriste magnetsko ili lasersko vođenje i mogu nositi terete ili jedinice tereta do 8 000 kg. Podjela je na:

- AGV paletne kamione
- Ravnotežne AGV viličare
- AGV vozila jediničnih tereta
- AGV vozila specijalne namjene

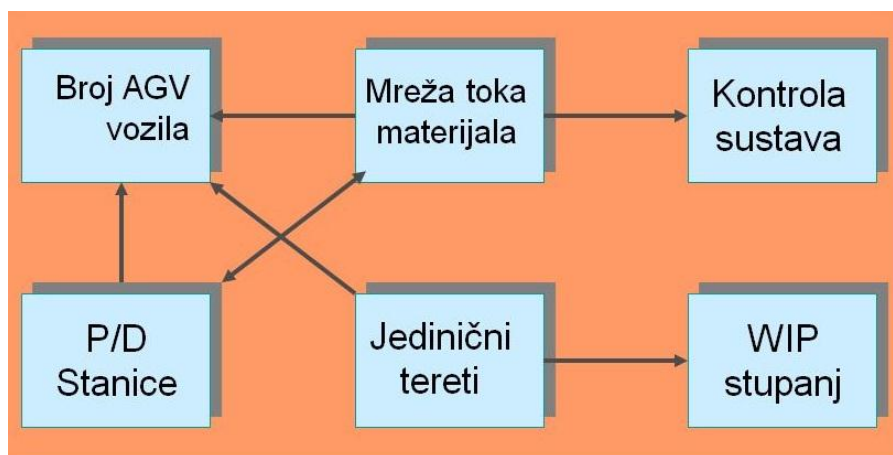
Tvrtka ulaže u razvoj AGV sustava zbog toga što se smatra da će u budućnosti AGV vozila postati glavno strateško rješenje i zamijeniti sve konvencionalne načine transporta u skladištu i izvan njega i omogućiti potpunu automatizaciju.[27]



Slika 52: Neka AGV vozila iz asortimana tvrtke *Dematic*

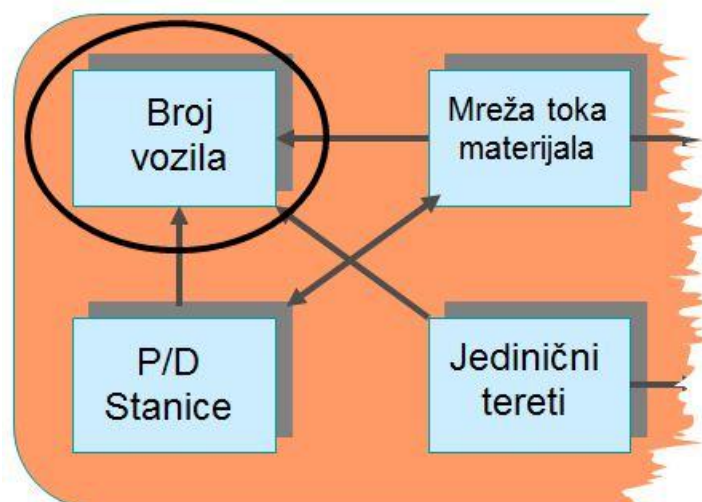
7. MATEMATIČKI MODELI PRORAČUNA PARAMETARA AGV SUSTAVA

U svakom sustavu postoji više faktora koji utječu na učinkovitost sustava a prikazani su na slici 56. Kod proračunavanja bitnih parametara AGV sustava smatra se da je broj vozila koja će se upotrebljavati za transport i rukovanje materijalom taj koji je zapravo najvažniji čimbenik u sustavu jer o njemu izravno ovisi hoće li u sustavu dolaziti do zagušenja vozila, do nepotrebnih čekanja i slično, a i zbog toga jer broj vozila direktno povezan sa protokom materijala u sustavu i svim troškovima sustava. Primjer tome su i investicijski troškovi pri kupnji vozila, pri čemu treba voditi računa o optimalnom broju vozila a n da se kupuje previše vozila koja se neće isplatiti.



Slika 53: Faktori koji utječu na učinkovitost sustava[14]

Broj vozila je bitan faktor koji je također povezan sa svim tokovima materijala i materijalnog rukovanja, kao i sa utovarno/istovarnim stanicama kao što slika 57. pokazuje. Preuzeto iz izvora [14]



Slika 54: Faktori koji direktno utječu na broj AGV vozila[14]

Stoga će u ovom poglavlju biti obrađeno određivanje broja vozila u AGV sustavu u okviru teorijskih osnova koje su potrebne za razumijevanje tog dijela, osnovni jednostavni matematički model za proračun broja vozila i na kraju će biti prikazan ilustrativni primjer odabira broja AGV vozila.

7.1. Teorijske osnove

Odabir broja AGV vozila za neki sustav je vrlo kompliciran i zahtjevan posao te zahtijeva puno rada na samom sustavu. Prvi korak za određivanje broja vozila je dizajniranje potrebne vrste vozila koje se provodi u 3 koraka prema izvoru [14]:

- Analiza stanja sustava
- Prikupljanje podataka za pojedinu fazu (brzina vozila, stanice tokova materijala)
- Dizajniranje (dizajniranje se vrši prema podacima o izgledu layout-a i o lokaciji stanice prikupljanja i odlaganja (*P/D station*))

Navedene tri faze su po prirodi iterativne i ponavljaju se nekoliko puta tijekom procesa da bi se došlo do konačnog rješenja.

Za određivanje potrebnog broja AGV vozila potrebne su 3 sljedeće skupine podataka:

1. Definicija layout-a:

Polazište u određivanju broja vozila je izgled kompletne mreže AGV sustava. To uključuje utvrđivanje stanica koje će se posluživati AGV vozilima, odgovarajuće točke prikupljanja i odlaganja za svaku od tih stanica, i približan put koji moraju preći vozila između stanica.

Iz podataka o rasporedu mreže AGV sustava korisnik može odrediti ili utvrditi neke od ključnih podataka za projekt, koji uključuju prema izvoru [14]:

- Broj postaja koje poslužuju AGV vozila
- Udaljenost koju vozilo prelazi između točaka prikupljanja na stanicama koje poslužuje dok je vozilo opterećeno (tj. vozilo putuje sa teretom)
- Udaljenost koju vozilo prelazi između točaka odlaganja na stanicama koje poslužuje dok je vozilo neopterećeno (tj. vozilo putuje bez tereta)

2. Tok materijala:

Sljedeći bitan korak za projekt određivanja broja vozila su podaci koji se odnose na protoke materijala u sustavu. Bitno je također imati saznanja o kakvom se materijalu radi u sustavu, te postoje li neki posebni zahtjevi za rukovanje tom vrstom materijala, da bi se moglo odrediti potrebno opterećenje sustava. [14]

3. Specifikacije AGV vozila:

Posljednji korak u kojem se dobivaju bitni podaci za izvršenje projekta odnose se na podatke o samim AGV vozilima. U to spadaju podaci o brzini vozila (brzina vozila sa teretom i bez njega), vrijeme potrebno za prikupljanje i odlaganje, maksimalno planirano iskorištenje vozila, koliko minuta po satu će vozilo biti dostupno a pretpostavlja se i određeni faktor zagušenja sustava.

Ove podatke o vozilima u pravilu nije lako odrediti, ali iskusni dobavljači i proizvođači AGV sustava osiguravaju i daju određene procjene tih podataka kod kupnje vozila. Kasnije se ti podaci koriste u procesima dizajna i simulacija da bi se potvrdili ti isti parametri i da bi se predvidio njihov utjecaj na sustav općenito.[14]

Kako bi mogli dalje krenuti sa projektom određivanja potrebnog broja vozila, treba imati određena saznanja što AGV vozilo u kojem trenutku radi:

- Kada putuje napunjeno
- Kada vrši izuzimanje ili odlaganje
- Kada putuje prazno
- Kada stoji besposleno

Prva dva slučaja je relativno lako odrediti u sustavu no treći slučaj je malo drukčiji te zahtijeva više istraživanja i proračuna.

Ovu komponentu vremena je vrlo teško procijeniti iz razloga što:

- Nismo sigurni koje će vozilo doći pokupiti materijal
- Nismo sigurni gdje se to vozilo nalazi u sustavu
- Moramo čekati na optimalno vozilo da bismo minimizirali put praznog vozila

7.2. Matematički modeli

Vrijeme trajanja koje je vozilu potrebno za izvršavanje neke operacije može se jednostavnim metodama izračunati u nekim slučajevima ili pak procijeniti u drugim slučajevima.

Stanja u kojima se vrijeme može proračunati su stanje izuzimanja materijala, odlaganja materijala, i vožnja opterećenog(natovarenog) vozila.

Vremena stanja vozila kroz koja vozilo prolazi a koja se ne mogu izračunati nego procijeniti su stajanje vozila, vrijeme putovanja praznog vozila, blokiranje vozila i punjenje.[14]

Procjena tog vremena radi se prema dvije jednostavne metode, prema izvoru [14]:

- Maxwell & Muckstadt
- Egbel-ov model

Vrijeme potrebno za utovar/istovar jednostavno se može proračunati pomoću matrice od-do tj. po principu udaljenosti između stanica koje vozilo posjećuje pri određenom toku materijala.

Definiranje jednostavnih parametara sustava:

t_L – vrijeme utovara

t_U – vrijeme istovara

V – brzina vozila

T – promatrano vrijeme (radno vrijeme vozila u danu)

$T_L = t_L \sum_i \sum_j f_{ij}$ – ukupno vrijeme utovara na svim utovarnim stanicama

$T_U = t_U \sum_i \sum_j f_{ij}$ – ukupno vrijeme istovara na svim istovarnim stanicama

$T_{Ld} = \sum_i \sum_j f_{ij} d_{ij}$ – ukupna udaljenost vožnje punih vozila između radnih stanica

$T_L = \sum_i \sum_j (f_{ij} d_{ij}) / V$ – ukupno vrijeme vožnje punih vozila između stanica

f_{ij} – broj potrebnih transporta od stanice i do stanice j

d_{ij} – udaljenost od stanice i do točke izuzimanja na stanici j

Mirovanje vozila, blokiranje i vrijeme putovanja praznog vozila su komponente koje se moraju procijeniti i one ovise o kontrolnim metodama i dinamici sustava.

Vrijeme punjenja baterije ovisi o vrsti baterije te o metodi punjenja i zadacima koje vozilo obavlja. U svrhu procjene tih vremena koristimo slijedeće faktore prema izvoru [14]:

e – procjena iskoristivosti vozila

b – postotak vremena kada je vozilo blokirano

c – postotak vremena kada vozilo miruje

t_b – vrijeme koje vozilo provede na punjenju

$\phi(T_{LT})$ – vrijeme vožnje praznog vozila kao funkcija vremena vožnje punog vozila

Prema literaturi procjene vremena vožnje praznog vozila dijele se na jednostavne i složene prema izvoru [14], te će u nastavku poglavlja biti obrađen „Egbel-ov“ model, te će pomoću tog modela biti riješen ilustrativni primjer na kraju.

7.2.1. Egbel-ov model

Metoda se temelji na „očekivanom scenariju“. Očekuje se da će prazno vozilo doći na određenu stanicu iz bilo koje stanice u pravilnim vremenskim razmacima.

Broj vozila se određuje prema prije definiranim parametrima i izraz(1) glasi:

$$N = \frac{\sum_i \sum_j (f_{ij} d_{ij}) / V + \varphi(T_{LT}) + \sum_i \sum_j f_{ij} (t_L + t_U)}{e(T - t_b) / (1 + b + c)}$$

Gdje je:

N – broj potrebnih AGV vozila

Na kraju zaključujem da broj vozila izravno ovisi o toku materijala koji se sastavljen od putanja i raskrižja kojima se kreće materijal te one dakako imaju utjecaj i na vrijeme koje je potrebno da vozilo uspješno obavi svoju misiju.

Također i vrijeme odlaganja odnosno izuzimanja ima na pojedinoj stanici izravno utječe na blokiranje vozila, kašnjenje i susretanje vozila.

Nakon dobivenog broja vozila rezultat se zaokružuje tako da iskoristivost vozila ne bude ispod granice iskoristivosti (npr. 85%). Naravno u svrhu poboljšanja iskoristivosti mogu se napraviti određene korekcije što se tiče vremena punjenja baterije, vremena održavanja, brzine učitavanja podataka i sl.

7.3. Primjer odabira broja AGV vozila

Potrebni podaci za grubu kalkulaciju broja AGV vozila u sustavu prema izvoru [15]:

- Broj stanica
- Udaljenost koju pređe natovareno vozilo između stanica
- Udaljenost koju pređe prazno vozilo između stanica
- Parametri automatski vođenog vozila
- Parametri AGV sustava

U ovom ilustrativnom primjeru razmotrit će se 7 stanica koje su raspoređene tako da donja matrica pokazuje udaljenosti koje pređe natovareno i prazno vozilo. Udaljenost koju vozilo mora preći je definirana točkama prikupljanja i odlaganja središnjih stanica (P→D).[15]

Tabela 2: Podaci o udaljenosti između stanica za natovareno vozilo[15]

STANICA OD/DO	1	2	3	4	5	6	7
1	0.00	240.00	200.00	240.00	200.00	160.00	200.00
2	240.00	0.00	100.00	140.00	100.00	120.00	200.00
3	200.00	140.00	0.00	160.00	200.00	160.00	360.00
4	200.00	160.00	180.00	0.00	180.00	160.00	200.00
5	200.00	160.00	160.00	100.00	0.00	140.00	320.00
6	200.00	180.00	120.00	140.00	140.00	0.00	240.00
7	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	200.00	0.00

U navedenoj gornjoj tablici putna udaljenost natovarenog vozila između stanice 1 i stanice 2 je 240 jedinica udaljenosti. Udaljenost se uobičajeno mjeri u stopama, no može se definirati i u metrima (ili bilo kojim jedinicama udaljenosti) ali navedenoj jedinici treba biti dosljedan tijekom projekta.

Udaljenosti koje vozilo mora preći bez opterećenja (tj. prazno) dano je u donjoj tablici i određuje se od mjesta na stanici gdje vozilo odloži teret i kreće prazno do slijedeće stanice.

U nekim AGV sustavima duljina puta koje vozilo pređe natovareno i prazno je različita zbog protoka mreže. U ovom primjeru uzimamo da su te udaljenosti iste, osim duljina puta od stanice 1 do 2.[15]

Tabela 3: Podaci o udaljenosti između stanica za prazno vozilo[15]

STANICA OD/DO	1	2	3	4	5	6	7
1	0.00	360.00	200.00	240.00	200.00	160.00	200.00
2	240.00	0.00	100.00	140.00	100.00	120.00	200.00
3	200.00	140.00	0.00	160.00	200.00	160.00	360.00
4	200.00	160.00	180.00	0.00	180.00	160.00	200.00
5	200.00	160.00	160.00	100.00	0.00	140.00	320.00
6	200.00	180.00	120.00	140.00	140.00	0.00	240.00
7	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	200.00	0.00

U gornjoj tablici primjećujemo da je udaljenost između stanica 1 i 2 u vožnji praznog vozila 360 jedinica udaljenosti.

Slijedeći podaci odnose se na protok materijala u sustavu. U ovom primjeru uzima se rad u dvije smjene (16 radnih sati) pa se pretpostavlja broj tokova materijala koji mora biti zadovoljen u dvije smjene.[15]

Tabela 4: Podaci o toku materijala između stanica[15]

STANICA OD/DO	1	2	3	4	5	6	7
1	0.00	40.00	20.00	30.00	50.00	20.00	24.00
2	40.00	0.00	28.00	40.00	10.00	28.00	40.00
3	30.00	50.00	0.00	40.00	42.00	62.00	40.00
4	40.00	50.00	60.00	0.00	50.00	40.00	60.00
5	40.00	60.00	40.00	40.00	0.00	30.00	30.00
6	40.00	60.00	50.00	50.00	36.00	0.00	40.00
7	10.00	60.00	40.00	50.00	20.00	30.00	0.00

U gornjoj tablici vidi se da je potrebno 40 transporta između stanice 1 i 2, tijekom 16-satnog radnog vremena, koje moraju obaviti AGV vozila.

Slijedeći podaci koji su potrebni za daljnje određivanje broja vozila i rješenje projekta vezani su uz parametre AGV vozila i samog sustava. U ovom primjeru pretpostavka je da se naša vozila kreću brzinom u 250 m/min (trenutne brzine kretanja vozila u industriji su od 150-300 stopa u minuti).

Kao i sve vrste vozila u industriji ni AGV vozila ne mogu koristiti svoj puni kapacitet pa se to negativno odnosi na vrijeme. Općenito se u projektiranju koriste podaci za iskoristivost 80-90%, u ovom primjeru je korištena iskoristivost 85%.

Vremena izuzimanja i odlaganja će u ovom primjeru biti uzeta da su 6 sekundi.

Raspoloživost vozila se uzima prema podacima o vremenu potrebnom za zamjenu baterije, vremena raspona zamjene baterije se kreću od 3-6 minuta. U slučaju automatske zamjene baterije pretpostavlja se kod projektiranja omjer 1:1 što bi značilo da onoliko koliko vozilo radi da se toliko treba i puniti baterija. U ovom primjeru ćemo pretpostaviti da je vozilo raspoloživo svakog sata 55 minuta.

Većina sustava s AGV vozilima će imati neizbježno kašnjenje zbog zagušenja sustava. Kašnjenje vozila se predstavlja postotkom kojim se povećava odnos između puta u opterećenoj i praznoj vožnji zbog zagušenja na tom putu. Faktori zagušenja ovise o izgledima objekata, kao i o stazama unutar objekata. Dobro dizajnirani objekti će imati te postotke zagušenja blizu nule. U ovom primjeru se faktor zagušenja uzima 10%

Također i većina AGV vozila sporije putuje kad su pod opterećenjem nego kad su prazna, omjer vremena koje je potrebno za putovanje praznog i opterećenog vozila faktor kašnjenja izražen u postocima. Ovaj faktor uglavnom ovisi o prirodi opterećenja na vozilu, npr. stabilnost i krhkost materijala koji vozilo prevozi. U našem primjeru je pretpostavka da je faktor kašnjenja 5%.

S obzirom na navedene podatke, koristit ćemo metodu Egbelu's za izračun potrebnog broja vozila, kojom ćemo utvrditi očekivani za očekivani broj vozila. Koristit će se izraz za navedenu metodu i izračunati vrijeme potrebno za prelazak određenog puta između stanica pomoću točnog protoka na toj udaljenosti i propisane brzine vozila. Za ukupno vrijeme, još se dodaju ukupna vremena odlaganja i izuzimanja, vrijeme dostupnosti vozila, kao i faktori zagušenja i kašnjenja, te se na temelju toga na kraju utvrđuje potreban broj vozila tako da se ne prelazi granica iskoristivosti od 85%.[15]

Sada uvrstimo parametre u formulu za Egbelu's model:

$$N = \frac{\sum_i \sum_j (f_{ij} \cdot d_{ij}) / V + \varphi(T_{LT}) + \sum_i \sum_j f_{ij} (t_L + t_U)}{e(T - t_b) / (1 + b + c)}$$

Najprije ćemo uvrstiti dobivene podatke u brojnik i izračunati članove brojnika:

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_j \frac{(f_{ij} \cdot d_{ij})}{V} &= \\ &= \{[0 \cdot 0 + 40 \cdot 240 + 20 \cdot 200 + 30 \cdot 240 + 50 \cdot 200 + 20 \cdot 160 + 24 \cdot 200] \\ &\quad + [40 \cdot 240 + 0 \cdot 0 + 28 \cdot 100 + 40 \cdot 140 + 10 \cdot 100 + 28 \cdot 120 + 40 \cdot 200] \\ &\quad + [30 \cdot 200 + 50 \cdot 140 + 0 \cdot 0 + 40 \cdot 160 + 42 \cdot 200 + 62 \cdot 160 + 40 \cdot 360] \\ &\quad + [40 \cdot 200 + 50 \cdot 160 + 60 \cdot 180 + 0 \cdot 0 + 50 \cdot 180 + 40 \cdot 160 + 60 \cdot 200] \\ &\quad + [40 \cdot 200 + 60 \cdot 160 + 40 \cdot 160 + 40 \cdot 100 + 0 \cdot 0 + 30 \cdot 140 + 30 \cdot 320] \\ &\quad + [40 \cdot 200 + 60 \cdot 180 + 50 \cdot 120 + 50 \cdot 140 + 36 \cdot 140 + 0 \cdot 0 + 40 \cdot 240] \\ &\quad + [10 \cdot 240 + 60 \cdot 240 + 40 \cdot 240 + 50 \cdot 240 + 20 \cdot 240 + 30 \cdot 200 + 0 \cdot 0]\} \\ &\quad / 250 = 1055,96 \text{ min} = 17,6h \end{aligned}$$

$$\varphi(T_{LT}) = 17,6 \cdot 0,95 = 16,7h$$

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_j f_{ij} \cdot (t_L + t_U) &= \\ &= (6 + 6) \cdot [(0 + 40 + 20 + 30 + 50 + 20 + 24) + (40 + 0 + 28 + 40 + 10 + \\ &\quad 28 + 40) + (30 + 50 + 0 + 40 + 42 + 62 + 40) + (40 + 50 + 60 + 0 + 50 + 40 + \\ &\quad 60) + (40 + 60 + 40 + 40 + 0 + 30 + 30) + (40 + 60 + 50 + 50 + 36 + 0 + 40) + \\ &\quad (10 + 60 + 40 + 50 + 20 + 30 + 0)] = 19920s = 5,5h \end{aligned}$$

Sada ćemo ispisati parametre nazivnika koji su zadani u zadatku te ih uvrstimo i izračunati nazivnik:

$$e = 85\% = 0,85$$

$$b = 10\% = 0,10$$

$$t_b = \frac{55}{60} \text{ min} = 0,083h$$

$$T = 16h \quad (\text{Radno vrijeme po danu, zadano u zadatku})$$

$$c = 0,10 + 0,083 = 0,183h$$

$$e \cdot \frac{T - t_b}{1 + b + c} = 0,85 \cdot \frac{16 - 0,083}{1 + 0,10 + 0,183} = 10,5h$$

Na kraju uvrstimo dobivene brojeve u jednadžbu za potreban broj vozila:

$$N = \frac{17,6 + 16,7 + 5,5}{10,5} = \frac{39,8}{10,5} = 3,68 = 4 \text{ vozila}$$

Uvrštavanjem gore navedenih parametara u jednadžbe kao rezultat smo dobili se da će za korišteni model u ovom primjeru biti očekivani broj vozila biti 4. To znači da se protok u stvarnom sustavu može zadovoljiti s 3 vozila ali se očekuje da će taj posao raditi 4 vozila.

Prije narudžbe vozila za bilo koji sustav, treba biti izvedena detaljna simulacija kako bi se utvrdila bolja procjena o broju vozila kao i o parametrima sustava, međutim i ova analiza na temelju ove metode osigurava dobro polazište za razvoj simulacije.

Inače je utvrđivanje potrebnog broja AGV vozila u nekom proizvodnom sustavu puno složenije nego što je to ovdje prezentirano. No cilj ovog primjera je bio samo grubi prikaz potrebnih parametara pomoću kojih se može odrediti broj vozila, te da se ti isti parametri trebaju zatražiti od proizvođača ili dobavljača da bi se mogli provesti bilo kakvi proračuni ili simulacije.

8. ZAKLJUČAK

Tema rada je bila objasniti te prikazati vrste automatski vođenih vozila i razjasniti ulogu automatiziranog transporta u skladištima pomoću automatski vođenih vozila (AGV vozila).

Nakon podjele vozila na određene skupine i s obzirom na funkciju koju ona obavljaju vidljivo je da su vozila jako uznapredovala od davne 1953. godine kada je napravljeno prvo takvo vozilo koje je moglo obavljati automatizirani transport (bez prisutnosti čovjeka).

Nakon konačnog pregleda može se sa sigurnošću utvrditi da je primjena AGV vozila jako dobra u područjima skladištenja i proizvodnje zbog prije svega manjih troškova, pouzdanijeg rada te zbog toga što sam sustav upotreba automatski vođenih vozila čini fleksibilnijim.

Isto tako se može konstatirati da uvođenje AGV vozila u sustave skladištenja i proizvodnih procesa ima tendenciju rasta što je uvjetovalo da se pojavljuje sve više proizvođača različitih vrsta vozila za različite namjene na tržištu.

Samim time može se doći do zaključka da bi u skoroj budućnosti moglo doći do jako velikog napretka u okviru potpune automatizacije skladištenja i proizvodnje jer to već i današnja tehnologija dopušta a ona se iz dana u dan kontinuirano razvija.

9. LITERATURA

- [1] – „Podloge za nastavu“, kolegij: Tehnička logistika, Prof. dr. sc. Čedomir Oluić, FSB
- [2] – Predavanja Prof. dr. sc. Goran Đukić, kolegij: Posebna poglavlja tehničke logistike; FSB
- [3] – <http://hr.wikipedia.org/wiki/Logistika>
- [4] – http://www.egeminusa.com/pages/agv_education/
- [5] – Jervis B. Webb Company, Material handling system specialists
- [6] – Savant Automation, Inc. 2748 – A Courier Dr. NW Walker, MI 49534
- [7] – <http://www.savantautomation.com>
- [8] – članak: Automatic Guided Vehicles, Autor: Lorie King Rogers, časopis: Modern Material Handling, izdanje: rujan, 2011.
- [9] – Predavanja Prof. dr. sc. Goran Đukić, AGV vozila, FSB
- [10] – članak: Perspectives on Material Handling Practice, Autor: Ronald A. Bohlander
- [11] – Industrial Transport System, web: <http://aerogo.be/>
- [12] – časopis: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, članak: Evaluation of automatic guided vehicle systems, Autori: Sigal Berman, Edna Schechtman, Yael Edan
- [13] – članak: Nothing runs like an AGV, Autor: Bob Trebilcock, časopis: Modern Material Handling, izdanje: studeni, 2011.
- [14] – Predavanje: „Determining Type and Number of Automated Guided Vehicles Required in a System”, Autor: Dr. David Sinreich, Faculty of Industrial Engineering and Management Technion - Israel Institute of Technology
- [15] – Case Study: Grado Department of Industrial and Systems Engineering Virginia Tech, Autori: Russell D. Meller, Amol Goel, Rohith Kori
- [16] – www.directindustry.com
- [17] – www.kamag.com
- [18] – www.fotograf-hamburg.de
- [19] – <http://coreconagvs.com>
- [20] – www.warehousenews.co.uk
- [21] – <http://www.kivasystems.com>
- [22] – <http://www.rocla-agv.com/>
- [23] – <http://www.softdesign.se/>
- [24] – <http://www.kivasystems.com/>
- [25] – www.frog.nl
- [26] – <http://www.seegrid.com/products/>
- [27] – <http://www.dematic.com/>